



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 697 33 941 T2 2006.06.14

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 888 202 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 697 33 941.6

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US97/04550

(96) Europäisches Aktenzeichen: 97 917 567.6

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 97/034734

(86) PCT-Anmeldetag: 21.03.1997

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 25.09.1997

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 07.01.1999

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 10.08.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 14.06.2006

(51) Int Cl.⁸: B23P 11/02 (2006.01)

B23Q 17/00 (2006.01)

B25B 5/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
13986 P 22.03.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
The Boeing Co., Seattle, Wash., US

(72) Erfinder:
MUNK, L., Clayton, Maple Valley, US; NELSON, E.,
Paul, University Place, US; STRAND, E., David,
Newcastle, US

(74) Vertreter:
Patent- und Rechtsanwälte Kraus & Weisert,
80539 München

(54) Bezeichnung: BESTIMMTER FLÜGELAUFBAU

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**Technisches Gebiet**

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum kostengünstigen Herstellen von größeren Flugzeugbaugruppen mit engen Toleranzen und spezieller ein Verfahren zum Herstellen eines Flugzeugflügels, welcher eine enge Übereinstimmung mit der ursprünglichen Entwurfskonfiguration aufweist, während Kosten für die Werkzeugbestückung deutlich reduziert werden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Herkömmliche Herstellungstechniken zum Zusammenfügen von Komponenten und Unterbaugruppen, um Flugzeugflügel mit einer spezifizierten Kontur herzustellen, beruhen auf Bearbeitungstechniken mit festen „Ansatzpunkten“, welche Boden-Zusammenbaueinspannvorrichtungen und Schablonen verwenden, um Einzelbauteile zu positionieren und vorübergehend aneinander zu befestigen, so dass die Teile korrekt relativ zueinander positioniert werden. Dieses traditionelle Bearbeitungskonzept erfordert gewöhnlich primäre Zusammenbauwerkzeuge für jede hergestellte Unterbaugruppe und zwei große Flügelhauptzusammenbauwerkzeuge (linke und rechte) für den Endzusammenbau der Unterbaugruppen zu einem vollständigen Flügel.

[0003] Die Zusammenbauwerkzeugbestückung ist dazu vorgesehen, der ursprünglichen Entwurfsgestaltung des Produkts genau zu entsprechen, jedoch sind viele Schritte zwischen dem ursprünglichen Entwurf des Produkts und der Endherstellung des Werkzeugs vorhanden, so dass es nicht ungewöhnlich ist, dass das Werkzeug, wie es letztendlich hergestellt ist, falsch bemessene Flügel oder Flügelkomponenten erzeugt, welche außerhalb der Abmessungstoleranzen des ursprünglichen Flügel- oder Flügelkomponentenentwurfs wären, solange nicht umfassende, zeitaufwändige und teure Handarbeit aufgewendet wird, um die durch die Werkzeugbestückung hervorgerufenen Fehler zu korrigieren. Noch schwerwiegender ist, dass ein Werkzeug, welches ursprünglich innerhalb der Toleranzen gebaut war, sich durch die starke Verwendung, welche es in der Fabrik erfährt, aus den Toleranzen heraus verzerren kann. Darüber hinaus können Abmessungsvariationen, welche durch Temperaturänderungen in der Fabrik verursacht sind, eine Variation in den Abmessungen des endgültigen Teils, wie es auf dem Werkzeug hergestellt wird, hervorrufen, insbesondere wenn zwischen dem Werkzeugbestückungsmaterial und dem Flügelmaterial eine große Differenz hinsichtlich des thermischen Ausdehnungskoeffizienten besteht, wie bei dem üblichen Fall, in welchem die Werkzeugbestückung aus Stahl hergestellt ist und die Flügelkomponenten aus Aluminium oder Titan hergestellt sind. Da

Abmessungen in einer Flugzeugkonstruktion häufig innerhalb von 0,005“ kontrolliert werden, können temperaturinduzierte Abmessungsvariationen signifikant sein.

[0004] Ein manuelles Bohren des Teils auf dem Werkzeug kann Löcher hervorrufen, welche nicht vollkommen rund oder senkrecht zu der Teiloberfläche sind, wenn das Bohrgerät dem Teil in einem Winkel dargeboten wird, welcher nicht ganz senkrecht zu dem Teil ist, und auch wenn das Bohrgerät mit einer Bewegung, welche nicht vollkommen geradlinig ist, in das Teil eingeführt wird. Teile können sich aus ihrer vorgesehenen Position verschieben, wenn sie in nicht runden Löchern befestigt werden, und der nicht gleichförmige Eingriff zwischen Loch und Befestigungsmittel bei einem nicht runden Loch oder einem Loch, welches gegenüber dem Loch in dem Passteil versetzt ist, hat nicht die Festigkeit und Ermüdbeständigkeit von runden Löchern, welche senkrecht zu der Teiloberfläche gebohrt sind. Die Toleranzsummierung an den Flügelunterbaugruppen kann zu einem erheblichen Anstieg gegenüber den ursprünglichen Entwurfsabmessungen führen, insbesondere wenn das Teil sich an einem Ende des Teils auf dem Werkzeug befindet, was die gesamten Teilvariationen in eine Richtung zwingt, anstelle sie über der wahren vorgesehenen Position zu mitteln.

[0005] Flügelkomponenten werden typischerweise mit starken Pressitzbefestigungsmitteln und/oder Befestigungsmitteln in kalt bearbeiteten Löchern aneinander befestigt. Pressitzbefestigungsmittel, wie zum Beispiel Niete und Arretierbolzen, und kaltes Bearbeiten eines Befestigungsmittelochs erzeugen beide um das Loch herum eine Verspannungsmuster in dem Metall, welches die Ermüdbeständigkeit der zusammengebauten Verbindung verbessert, jedoch bewirkt eine lange Reihe von solchen Verspannungsmustern ein größtmäßiges Anwachsen der Baugruppe, in erster Linie in der longitudinalen Richtung, und kann auch bewirken, dass ein längliches Teil sich entlang seiner Länge verwindet oder „bananenartig verformt“. Versuche, die Baugruppe gewaltsam festzuhalten, um eine solche Verzerrung zu verhindern, sind allgemein fruchtlos, so dass die bislang erfolgreichste Technik gewesen ist, zu versuchen, das Ausmaß der Verzerrung vorherzusagen und es bei dem ursprünglichen Entwurf der Teile zu berücksichtigen, mit der Absicht, dass die Baugruppe sich in eine Form verzerrt, welche bei dem Entwurf gefordert wird. Jedoch sind solche Vorhersagen aufgrund der natürlich auftretenden Variationen bei der Installation von Befestigungsmitteln und dem kalten Bearbeiten von Löchern nur Näherungen, so dass häufig ein Grad an Unvorhersehbarkeit in der Konfiguration der endgültigen Baugruppe besteht. Ein Prozess, um die Effekte der Verzerrung in den Unterbaugruppen zu beseitigen, bevor sie in der endgültigen Baugruppe befestigt werden, wurde lange gesucht und wäre von

erheblichem Wert für die Flügelherstellung sowie auch für die Herstellung von anderen Teilen des Flugzeugs.

[0006] Eine Hauptwerkzeugbestückung für Flügel ist teuer aufzubauen und innerhalb der Toleranzen zu halten und erfordert eine lange Vorlaufzeit für Entwurf und Aufbau. Die enormen Kosten und lange Vorlaufzeit, eine Hauptwerkzeugbestückung für Flügel aufzubauen, ist eine schwere Abschreckung, den Flügel für ein Flugzeug eines existierenden Modells neu zu entwerfen, sogar wenn neue Entwicklungen in der Aerodynamik gemacht werden, weil der neue Entwurf erfordern würde, dass alle Hauptwerkzeuge für den Flügel und einige oder alle der Werkzeuge für Flügelkomponenten neu aufgebaut werden.

[0007] Die Möglichkeit, für Fluglinienkunden schnell kundenspezifische Flügel zu entwerfen und bauen, welche besondere Anforderungen haben, welche von bestehenden Flugzeugmodellen nicht erfüllt werden, würde einem Flugwerkhersteller einen enormen Wettbewerbsvorteil bieten. Derzeit besteht diese Möglichkeit nicht, weil die Kosten der fest zugeordneten Flügelhauptwerkzeugbestückung und die Fabriknutzfläche, welche solche Werkzeuge erfordern würden, die Kosten von „Designerflügeln“ unerschwinglich teuer machen. Wenn jedoch dieselbe Werkzeugbestückung, welche verwendet wird, um den Standardflügel für ein bestimmtes Modell herzustellen, schnell und einfach umgebaut werden könnte, um einen kundenspezifische Flügel zu bauen, welcher die besonderen Anforderungen eines Kunden erfüllt, und dann zurück zu dem Standardmodell oder einem weiteren kundenspezifischen Flügelentwurf umgebaut werden könnte, könnten den Kunden Flugzeuge mit Flügeln angeboten werden, welche spezifisch optimiert sind, um ihre besonderen Anforderungen zu erfüllen. Die einzigen zusätzlichen Kosten des neuen Flügels wären die Konstruktion und möglicherweise eine anspruchslose maschinelle Bearbeitung von Sockeln und anderen kostengünstigen Werkzeugen, welche auf diesen Flügelentwurf beschränkt wären.

[0008] Ein Verfahren zur Herstellung von Flugzeugflügeln ist aus der britischen Patentanmeldung GB 2 276 660 bekannt. Unter Verwendung dieses Verfahrens werden Flügelbaugruppen aufgebaut, indem zuerst Unterbaugruppen aufgebaut werden und indem die Unterbaugruppen in einem späteren Arbeitsgang miteinander verbunden werden. Das Ergebnis dieses Verfahrens ist, eine Roboter einsetzende Vernietung von Flügelhüllenplatten an Flügelrippenabschnitten zu ermöglichen.

[0009] Die EP 0 593 127, auf welcher der Oberbegriff des vorliegenden Anspruchs 1 basiert, beschreibt ein Verfahren zum Herstellen einer Flugzeugstruktur aus einer Vielzahl von Teilen, wobei vor

dem Positionierungsschritt der Teile Koordinationslöcher in die Teile gebohrt werden, wobei die Koordinationslöcher die räumlichen Beziehungen zwischen Schlüsselmerkmalen der Teile definieren, um die Teile unabhängig von der Werkzeugbestückung selbstpositionierend und intrinsisch bestimmt für die letztendliche Kontur der Flugzeugstruktur zu machen. Das bekannte Verfahren umfasst auch ein Positionieren der Teile der Flugzeugstruktur relativ zueinander, indem ihre jeweiligen Koordinationslöcher ausgerichtet werden.

[0010] Die Nachteile von Herstellungsprozessen, welche ein „Hard Tooling“ verwenden, sind inhärent. Obwohl diese Nachteile durch strenge Qualitätskontrolltechniken minimiert werden können, werden sie stets zu einem gewissen Ausmaß bei der Herstellung von großen mechanischen Strukturen unter Verwendung eines „Hard Tooling“ vorhanden sein. Ein determinanter Zusammenbauprozess wurde entwickelt und liegt in der Produktion zur Flugzeuggrumpfherstellung, wobei ein „Hardpoint Tooling“ durch selbstpositionierende Einzelteile ersetzt wird, welche die Konfiguration der Baugruppe durch ihre eigenen Abmessungen und bestimmte Koordinationsmerkmale, welche in den Entwurf der Teile einbezogen werden, bestimmen. Dieser neue Prozess, dargestellt in dem US-Patent Nr. 5,560,102 mit dem Titel „Panel and Fuselage Assembly“ von Micale und Strand hat bewiesen, mit einer geringeren Nachbearbeitung weitaus genauere Baugruppen zu produzieren. Eine Anwendung des determinanten Zusammenbauprozesses bei der Flugzeugflügelherstellung sollte einen besseren Prozess ergeben, welcher die Verwendung von Hardtooling eliminiert oder minimiert, während sowohl die Produktionskapazität der Fabrik erhöht als auch die Qualität des Produkts verbessert werden, indem die Teilvariabilität reduziert wird, während die Produktionskosten reduziert werden und eine Flexibilität, seinen Kunden schnelle Entwurfsänderungen verfügbar zu machen, gewährleistet wird. Diese Verbesserungen wären ein großer Segen für einen Flugwerkhersteller und seine Kunden und würde die Wettbewerbsposition des Herstellers auf dem Markt verbessern. Die vorliegende Erfindung ist ein bedeutsamer Schritt zu einem solchen Prozess.

Zusammenfassung der Erfindung

[0011] Folglich ist es eine Aufgabe dieser Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen von großen und schweren Baugruppen, wie zum Beispiel Flugzeugflügel, aus flexiblen und halbflexiblen Teilen und Unterbaugruppen in Übereinstimmung mit einem ursprünglichen Konstruktionentwurf bereitzustellen, welches davon befreit ist, sich auf herkömmliches „Hardpoint Tooling“ zu verlassen, um die Anordnung der Teile relativ zueinander und die Kontur der Baugruppe zu bestimmen.

[0012] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Flugzeugflügeln bereitzustellen, welches intrinsische Merkmale der Einzelteile verwendet, um es ihnen zu ermöglichen, sich selbst zu positionieren und Baugruppenabmessungen und -konturen zu bestimmen, anstelle die Abmessungen und Konturen von herkömmlicher Werkzeugbestückung zu verwenden, um Baugruppenabmessungen und -konturen zu bestimmen.

[0013] Noch eine weitere Aufgabe dieser Erfindung ist, ein System zur Herstellung von Flugzeugflügeln bereitzustellen, welches inhärent genauer als der Stand der Technik ist und Strukturen produziert, in welchen die Teile gleichbleibend mit engerer Übereinstimmung mit der durch den Konstruktionsentwurf bestimmten Toleranz genauer an der Struktur positioniert sind.

[0014] Es ist noch eine weitere Aufgabe der Erfindung, ein System zur Herstellung von Flugzeugflügeln bereitzustellen, welches schneller und weniger teuer als die traditionellen Techniken des Stands der Technik ist und weniger Fabrikraum erfordert und weniger von der Fertigkeit von Arbeitern abhängig ist, um Teile innerhalb der spezifizierten Konstruktionstoleranzen zu produzieren.

[0015] Noch eine weiter Aufgabe dieser Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, welche die Herstellung von Unterbaugruppen mit einer Präzision und Wiederholbarkeit erleichtert, welche es ermöglicht, Flugzeugflügel innerhalb der in dem ursprünglichen Flügelkonstruktionsentwurf spezifizierten Toleranz zu bauen.

[0016] Noch eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Bauen von Flugzeugflügeln bereitzustellen, welches eine Abfolge von Vorgängen aufweist, die dazu ausgestaltet sind, kritische Merkmale an den Einzelteilen oder Unterbaugruppen anzubringen, nachdem der Flügel oder die Flügelkomponente durch Arbeitsabläufe, welche den Flügel oder die Komponente verzerren, wie zum Beispiel Pressbefestigungsmittel, verzerrt wurde.

[0017] Noch eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Zusammenfügen einer Hauptbaugruppe aus verzerrten Teilen oder Unterbaugruppen bereitzustellen, indem ihre Verzerrung mit einer Prüfroutine berücksichtigt wird, welche eine digitale Teildarstellung des verzerrten Teils oder der verzerrten Unterbaugruppe erzeugt und sie mit dem Raum vergleicht, in welches es/sie passen soll, und dann eine Best-Fit-Ausrichtung für das verzerrte Teil oder die verzerrte Baugruppe erzeugt, um die Effekte der Verzerrung zu minimieren.

[0018] Noch eine weitere Aufgabe der Erfindung ist, einen Prozess zur Herstellung eines Flugzeugflügels

bereitzustellen, bei welchem nur die Schlüsseleigenschaften der Komponenten und des Flügels kontrolliert werden und sie nur solange kontrolliert werden, wie sie von Bedeutung sind, und es ihnen dann, nachdem sie nicht mehr von Bedeutung sind, ermöglicht wird zu variieren.

[0019] Diese und/oder weitere Aufgaben der Erfindung werden durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 erfüllt. Ein Vorteil des beanspruchten Verfahrens ist, dass es genauer ist und Strukturen produziert, in welchen die Teile gleichbleibend genauer auf der Struktur positioniert sind. Das vorliegende Verfahren berücksichtigt auch die Effekte einer Verzerrung in den Unterbaugruppen, bevor sie in der endgültigen Baugruppe befestigt werden.

Beschreibung der Zeichnungen

[0020] Die Erfindung und ihre vielzähligen vorhandenen Aufgaben und Vorteile können besser verstanden werden, wenn die nachfolgende detaillierte Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den nachfolgenden Zeichnungen gelesen wird, in welchen:

[0021] Fig. 1 ein schematisches Übersichtsdigramm eines Zusammenbauprozesses für Flugzeugflügel in Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist;

[0022] Fig. 2A-Fig. 2E schematische Ansichten von bestimmten Meilensteinschritten in dem Prozess gemäß dieser Erfindung zum Zusammenbau von Komponenten und Unterbaugruppen zu einem Flügelkasten in Übereinstimmung mit dieser Erfindung sind;

[0023] Fig. 3 eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer Flügelhauptzusammenbauzelle in Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist;

[0024] Fig. 4 eine perspektivische Ansicht eines der Sockel ist, welcher in der Flügelhauptzusammenbauzelle von Fig. 3 dargestellt ist;

[0025] Fig. 5 eine schematische Ansicht einer Computerarchitektur und eines Prozesses zur Konvertierung von Daten aus einer digitalen Produktdefinition zu Instruktionen in einer Bearbeitungswerkzeugsteuerung zur Durchführung von bestimmten Zusammenbauvorgängen ist;

[0026] Fig. 6 eine Schnittansicht ist, welche eine zwischen Holmen befestigte Rippe in einem in Übereinstimmung mit dieser Erfindung hergestellten Flugzeugflügel zeigt;

[0027] Fig. 7 eine vergrößerte Ansicht einer Verbindung zwischen einer Längsversteifung, einer Flügelhülle, einer Rippe und einem Holm in einem Abschnitt

eines in Übereinstimmung mit dieser Erfindung hergestellten Flügels ist;

[0028] **Fig. 8** eine Schnittansicht einer Rumpfseitenverbindung zwischen einem Flügel und einem Flugzeugrumpf in Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist;

[0029] **Fig. 8A** eine perspektivische Ansicht des Innenendes eines in Übereinstimmung mit dieser Erfindung hergestellten Flügels ist, welche die Rumpfseitenbefestigung zeigt;

[0030] **Fig. 9** eine Schnittansicht eines teilweise zusammengebauten Flügelkastens ist, welche die Holme durch obere und untere Flügelplatten mit angebrachten Längsversteifungen überbrückt zeigt, die Rippen jedoch zur Klarheit der Darstellung weglässt;

[0031] **Fig. 10** eine perspektivische Ansicht eines vollständig zusammengebauten Flügelkastens in Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist, wobei die Rumpfseitenfläche weggelassen ist, um das Innere des Flügelkastens zu zeigen;

[0032] **Fig. 11** eine vergrößerte perspektivische Ansicht des Innenendes des in **Fig. 10** dargestellten Flügelkastens ist;

[0033] **Fig. 12** eine Ansicht, teilweise im Querschnitt, einer Kantenlehre/-klemme, um einen Holm relativ zu der Kante einer Flügelplatte zu positionieren und ihn in Position zu halten, ist;

[0034] **Fig. 13** eine Ansicht einer in dem Prozess dieser Erfindung verwendeten vorläufigen Holmhalterung ist;

[0035] **Fig. 14** eine explodierte Ansicht eines in Übereinstimmung mit dieser Erfindung hergestellten Flügelkastens ist, welche eine Scherverbindungsrippe zeigt, die zwischen zwei Holmen befestigt ist, wobei die Flügelplatten als Einzelteile dargestellt sind;

[0036] **Fig. 15** eine perspektivische Ansicht eines durchsichtig dargestellten Flügelkastens ist, welche die Anordnung der Triebwerksstrebenebefestigungen an dem Flügelkasten zeigt;

[0037] **Fig. 16** und **Fig. 17** Aufriss- und Draufsichtansichten von Klappenhalterungen sind, welche an dem hinteren Holm und der unteren Flügelplatte angebracht sind;

[0038] **Fig. 18** eine schematische Ansicht eines Prozesses zum Anbringen von Querrudergelenkripen an dem hinteren Holm ist;

[0039] **Fig. 19** eine schematische Darstellung eines holmbasierten Flügelzusammenbauprozesses in

Übereinstimmung mit dieser Erfindung ist, wobei der Flügel während des Zusammenbaus mit der Wasserlinie in der vertikalen Position ausgerichtet ist; und

[0040] **Fig. 20** eine Querschnittsendansicht einer Vorrichtung zum Zusammenbauen von Flügeln unter Verwendung eines holmbasierten horizontalen Zusammenbauprozesses ist.

Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels

[0041] Die Erfindung wird als auf ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel angewendet beschrieben, nämlich einen Prozess zum Zusammenbau von Flugzeugflügeln. Es versteht sich jedoch, dass diese Erfindung eine allgemeine Anwendung bei dem Einbau von Teilen in größere Baugruppen hat, wo die Beachtung eines spezifizierten Satzes von Abmessungstoleranzen gewünscht ist, insbesondere wo einige oder alle der Teile und Unterbaugruppen flexibel oder halbflexibel sind.

[0042] Nun auf die Zeichnungen Bezug nehmend, in welchen gleiche Bezugszeichen identische oder entsprechende Teile kennzeichnen, und daraus spezieller auf **Fig. 1**, veranschaulicht ein schematisches Übersichtsdiagramm die Hauptprozessschritte in dem determinanten Flügelzusammenbauprozess gemäß dieser Erfindung. Der Prozess beginnt mit einem Aufbauen der Hauptkomponenten des Flügels, einschließlich oberer und unterer Flügelplatten **30** und **32**, eines hinteren Holms **34** und eines vorderen Holms **36** und Holminnenrippen **38**. Die Hauptkomponenten werden auf einem durch einen Computer numerisch gesteuerten Bearbeitungswerkzeug **40** zusammengebracht und wie in **Fig. 2** veranschaulicht auf einer Reihe von Haltebefestigungen **42**, welche auf einem Bett **44** des Bearbeitungswerkzeugs **40** angebracht sind, zu einem Flügel in der horizontalen Position zusammengebaut. Die untere Flügelplatte **32** ist auf den Haltebefestigungen **42** positioniert, und die Holme **34** und **36** sind benachbart zu vorderen und hinteren Kanten der unteren Flügelplatte **32** positioniert. Die Rippen **38** sind zwischen den Holmen **34** und **36** positioniert und sind an den Holmen und an der unteren Flügelplatte **32** befestigt, und die Holme **32** und **34** sind ebenfalls an der unteren Flügelplatte **32** befestigt. Drei Triebwerksstrebenebefestigungen **46** sind an der Unterseite des Flügelkastens mit Befestigungsmitteln, welche sich durch die untere Flügelhülle und in innere Lastbefestigungen **48**, welche an den vorgesehenen Rippen befestigt sind, befestigt, und ein Lager **50** für ein Fahrwerksverbundungsstück **52** ist an dem hinteren Holm angebracht. Der Flügel wird abgeschlossen, indem die obere Flügelplatte **30** an dem vorderen und hinteren Holm und an den Rippen **38** befestigt wird. Der Prozess zur Durchführung dieser Schritte wird nachfolgend genauer beschrieben.

[0043] Herkömmliche Befestigungsmittel sind bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel zur Verwendung vorgesehen. Diese herkömmlichen Befestigungsmittel, wie zum Beispiel Niete, Bolzen, Verriegelungsbolzen, Hi-Locks und dergleichen, sind in der Luft- und Raumfahrtindustrie weit verbreitet und sind gut verstanden und zuverlässig. Jedoch ist diese Erfindung nicht auf die Verwendung von herkömmlichen Befestigungsmitteln beschränkt und ist voll kompatibel mit der Verwendung von fortgeschrittenen Befestigungstechniken, wie zum Beispiel Co-Curing und anderen Verbindungstechniken für wärmehärtende Verbundteile, Induktionsschweißen von thermoplastischen Teilen, wie in der Patentanmeldung Nr. 08/367,546 mit dem Titel „Multipass Induction Heating for Thermoplastic Welding“, eingereicht von Peterson et al., und Reibungsschweißen von Metallteilen, wie in einer internationalen PCT-Anmeldung mit der Nummer WO 93/10935 beschrieben, wenn diese Prozesse ausreichend begriffen, zuverlässig und zur Verwendung bei kritischen Fluggeräten bewährt sind.

[0044] Die Werkzeugbestückung, wie zum Beispiel die Haltebefestigungen **42**, welche in dem Prozess verwendet wird, dient in erster Linie der Unterstützung der Komponenten und Teile beim Bohren und Bearbeiten durch das Bearbeitungswerkzeug **40**, wie zum Beispiel ein an einem Portal angebrachtes 5-Achsen-Werkzeug von Henri Line oder ein 5-Achsen-Bearbeitungswerkzeug mit vertikalem Turm von Cincinnati Milacron. Andere Bearbeitungswerkzeuge mit ähnlichen Fähigkeiten könnten ebenfalls verwendet werden. Die erforderlichen Fähigkeiten sind Präzision und Wiederholbarkeit hinsichtlich Spindelpositionierung, welche bei dieser Anwendung ungefähr $\pm 0,005"$ ist, und Betrieb unter Steuerung einer Maschinensteuerung, welche programmiert werden kann, digitale Produktdefinitionsdaten, welche von einer Konstruktionsdatenquelle für den Flügel und die Flügelkomponenten stammen, einzubeziehen, so dass Koordinationsmerkmale, welche durch die digitale Produktdefinition spezifiziert sind, genau und wiederholbar durch das Bearbeitungswerkzeug **40** platziert werden können. Diese zwei Fähigkeiten ermöglichen es dem Bearbeitungswerkzeug **40**, Koordinationsmerkmale, wie zum Beispiel Koordinationslöcher und maschinell bearbeitete Koordinationsflächen, an Teilen, Komponenten und Baugruppen an präzise genauen Positionen anzubringen, welche in der digitalen Produktdefinition spezifiziert sind. Diese Koordinationsmerkmale werden verwendet, um Teile und Komponenten relativ zueinander zu positionieren, wo sie festgehalten und befestigt werden, wodurch der Bedarf für ein feststehendes Hard Tooling, welches zuvor verwendet wurde, um die Teile und Komponenten relativ zueinander zu positionieren, eliminiert oder drastisch reduziert wird. Die Koordinationsmerkmale bestimmen somit die relative Position der Teile und Komponenten, welche die Baugruppe bilden,

und bestimmen dadurch unabhängig von jeglicher Werkzeugbestückung die Größe und Form der Baugruppe.

Flügelplattenaufbau

[0045] Der Flügelplattenaufbau beginnt mit Aufrichtung der Haltebefestigungen **42** auf dem Bearbeitungswerkzeugbett **44**. Die Haltebefestigungen **42** können von jeglicher aus einer Vielzahl von Gestaltungen sein, welche mehrere Flügelhüllenplanken **54** halten, die zusammen die untere Flügelhülle **56** bilden. Die Planken **54** werden in allgemein horizontaler oder liegender Position gehalten, wobei die untere Oberfläche oder „äußere Formlinie“ dem Flügelplattenprofil entspricht, welches in dem Konstruktionsentwurf spezifiziert ist. Das bevorzugte Ausführungsbeispiel eines Satzes von Haltebefestigungen **42** ist in [Fig. 3](#) dargestellt. Jede Haltebefestigung beinhaltet eine robuste Basisstruktur **58**, welche einen Sockel trägt, auf welchem die Flügelplanken **54** liegen, wobei ihre Außenflächen in Kontakt mit einem Kontaktfeld **62** auf der Oberseite des Sockels **60** sind. Das Kontaktfeld **62** ist ein Streifen aus beständigem, nicht abreibendem Material, wie zum Beispiel Polyethylen mit ultrahoher Dichte, Polyurethan oder Teflon, welches die Flügelplanken **54** unter Druck ohne Durchbiegung unterstützt, jedoch die Oberflächenbeschichtung auf den Flügelhüllenplanken **54** nicht zerkratzt. Nachdem die Haltebefestigungen **42** zum ersten Mal auf dem Bearbeitungswerkzeugbett **44** angebracht sind, wird das Bearbeitungswerkzeug **40** verwendet, um die Kontaktfelder **62** maschinell zu der exakten Kontur zu bearbeiten, welche durch den Konstruktionsentwurf spezifiziert ist, wobei die Daten aus der digitalen Produktdefinition verwendet werden.

[0046] Die digitale Produktdefinition ist die höchste Konstruktionsautorität für das Produkt, in diesem Fall ein Flugzeug eines bestimmten Modells. Sie besteht auf einem Mastercomputer **64** in einem Programm zum computerunterstützten Entwurf als ein digitales Modell **66**, welches alle die Abmessungen, Toleranzen, Materialien und Prozesse beinhaltet, die das Produkt vollständig definieren. Die Abmessungsdaten aus dem Modell **66** werden in einer Datei einem NC-Programmierer bereitgestellt, welcher sie verwendet, einen Datensatz **68** und Bearbeitungsbefehle zu erzeugen, wie zum Beispiel Typ und Größe einer Schneidevorrichtung, Zuführungsgeschwindigkeiten und andere Informationen, welche von einer Steuerung des Bearbeitungswerkzeugs **40** verwendet werden, um den Betrieb des Werkzeugs zu steuern. Der Datensatz und die Bearbeitungsbefehle werden in eine Nachbearbeitungseinrichtung **70** eingeführt, wo sie in eine maschinenlesbare Datei **72** umgewandelt werden, welche an ein Datenverwaltungssystem **74** übermittelt wird, wo sie zur Verwendung durch die Bearbeitungswerkzeugsteuerungen **78** ge-

speichert wird. Auf Anforderung wird die Datei **72** über Telefonleitungen **76** oder andere bekannte Kommunikationsmittel zur Verwendung durch die Steuerung beim Betreiben des Bearbeitungswerkzeugs **40** an die Bearbeitungswerkzeugsteuerung **78** übermittelt.

[0047] Die Datei **72** in dem Datenverwaltungssystem **74** wird verwendet, um die Bearbeitungswerkzeugsteuerung **78** zu programmieren, das Bearbeitungswerkzeug **40** zu bewegen, um Koordinationslöcher und Befestigungsmittellochern zu bohren, sowie für andere Präzisionsbearbeitungs- und Positionierungsvorgänge, welche nachfolgend beschrieben werden. Das Bearbeitungswerkzeug **40** bohrt auch Löcher in die Sockel **60** für drei präzisionsgebohrte Lagerbuchsen **80**, in welche präzisionsgeschliffene Ausrichtungsstifte **82** eingesetzt werden, um die Flügelhüllenplanken **54** an einer bekannten Position auf den Sockeln **60** zu positionieren. Die Position ist nicht kritisch, so dass die Genauigkeit des Flügels nicht von der Genauigkeit der Einrastung der Flügelhüllenplanken **54** auf den Sockeln **60** abhängt, weil die Planken hinsichtlich ihrer tatsächlichen Position auf den Sockeln **60** unter Verwendung eines auf dem Bearbeitungswerkzeug **40** angebrachten Kontaktfühlers **84** untersucht werden. Eine Vakuumquelle **86** wird aktiviert, um einen Sog in einer Reihe von Saugnäpfen **88** auf den Sockeln **60** zu erzeugen, so dass die Flügelhüllenplanken **54** gegen die Kontaktfelder **62** auf den Sockeln **60** in Position gehalten werden, und der Kontaktföhrer **84** wird von dem Bearbeitungswerkzeug **40** bewegt, um die Schlüsselkoordinationsmerkmale auf den Flügelhüllenplanken **54** zu untersuchen. Ein geeigneter Fühler für diesen Zweck wäre ein Renishaw-Kontaktföhrer mit Modellnummer RW486, hergestellt von der Renishaw Company in Onondaga, New York, obwohl andere Fühler, welche von anderen Quellen verfügbar sind, ebenfalls verwendet werden könnten.

[0048] Nachdem die Schlüsselkoordinationsmerkmale an den Flügelhüllenplanken **54** untersucht wurden, um die tatsächliche Position der Planken auf den Sockeln **60** zu bestimmen, wird das Bearbeitungssteuerungsprogramm aktualisiert oder normiert, um den Datensatz von der digitalen Produktdefinition mit der tatsächlichen Position der Flügelhüllenplanken auf den Sockeln **60** in Einklang zu bringen. Das Bearbeitungsprogramm wird nun veranlasst, Koordinationslöcher in dem Innenende der Flügelhüllenplanken **54** zu bohren, welche mit Koordinationslöchern gemeinsam sind, die in das Innenende einer Reihe von Flügellängsversteifungen **90** gebohrt sind. Die Längsversteifungen **90** erstrecken sich longitudinal oder in der Spannweitenrichtung entlang des Flügels und dienen dazu, die mehreren Flügelhüllenplanken **54** zu einer einzigen Flügelplatte **32** zu verbinden und auch die Platte zu verstauen. Sie dienen auch als die Verbindungsstruktur zwischen den

Holminnenrippen **38** und der Flügelhülle **56**, wie es nachfolgend genauer diskutiert wird. Die Längsversteifungen **90** werden auf den Planken **54** mittels der Koordinationslöcher entlang der Spannweitenrichtung positioniert, und die freien Enden der Längsversteifungen **90** werden von dem Bearbeitungswerkzeug **40** entlang der Tiefenrichtung positioniert, während es sich entlang der Planke fortbewegt, wobei es bohrt und befestigt, während es sich fortbewegt. Das Bearbeitungswerkzeug **40** kann einen einfachen Stift verwenden, um die Seite der Längsversteifung in Eingriff zu bringen, um sie in der Tiefenrichtung zu positionieren, oder kann einen Zentriermechanismus verwenden, wie er in dem Patent Nr. 5,299,894 oder Patent Nr. 5,477,596, beide von Peter McCowin, dargestellt ist.

[0049] Um sicherzustellen, dass die Längsversteifungen **90** die Rippen **38** an Positionen innerhalb der vorgesehenen Toleranzgrenzen schneiden, so dass die Flügelplatte **30** ohne die Verwendung von Unterlegscheiben und ohne Verspannung der Flügelplatte an den Rippen **38** befestigt werden kann, müssen die Längsversteifungen **90** gleichmäßig und genau an den Flügelhüllenplanken **54** befestigt werden. Der determinante Zusammenbauprozess ist ein leistungsfähiger Prozess, welcher die Verwendung einer statistischen Prozesskontrolle ermöglicht, um einen Trend in Richtung eines Zustands außerhalb der Toleranz zu erfassen, bevor schlechte Flügelplatten **32** produziert werden, so dass ein korrigierender Eingriff stattfinden kann. Genauigkeit der Flügelplattenherstellung stellt sicher, dass die Flügelkomponenten wie beabsichtigt zusammenkommen, ohne die Teile vorzuspannen und ohne kosmetische Unzulänglichkeiten, und dass der zusammengebaute Flügel aerodynamisch wie entworfen funktioniert. Eine genaue Platzierung der Längsversteifungen **90** an den Flügelplatten **30** und **31** ermöglicht es, kleinere „Auffüllungen“ oder verdickte Bereiche an den Profilsehnen **92** der Rippen **38** und Längsversteifungen zu verwenden, wo die Längsversteifungen an die Rippenprofilsehnen **92** geschraubt sind, wie es in **Fig. 6** und **Fig. 7** dargestellt ist, anstelle der großflächigen Auffüllungen, welche herkömmlich verwendet werden, um die Variation hinsichtlich der Längsversteifungsplatzierung zu berücksichtigen. Kleinere Auffüllungen reduzieren das Gewicht der Rippenprofilsehnen und Längsversteifungen und erhöht die Tragfähigkeit des Flugzeugs.

[0050] Koordinationslöcher werden an dem Innenende in die Längsversteifungen **90** gebohrt. Vorgezogene Weise werden die Koordinationslöcher gebohrt, wenn die Längsversteifungen zu Anfang hergestellt werden, aber sie können auch nachträglich auf einer dafür vorgesehenen Befestigung oder sogar auf demselben Bearbeitungswerkzeug **40** auf denselben oder ähnlichen Haltebefestigungen **42** gebohrt werden, bevor die Flügelhüllenplanken **54** in Position ge-

legt werden. Die spezifizierten Positionen der Längsversteifungsbefestigungsmittellocher, an welchen die Längsversteifungen an die Flügelhüllenplanken genietet werden, befinden sich in dem Bearbeitungswerkzeugsteuerprogramm, wobei sie zuvor von der Datenbank heruntergeladen wurden, auf welcher die digitale Produktdefinition ruht. Das Bearbeitungswerkzeugprogramm bewegt den Bohrkopf zu den spezifizierten Positionen für diese Befestigungsmittellocher, typischerweise an einer oder mehrerer der Positionen, wo Niete installiert werden, um die Längsversteifungen an den Flügelhüllenplanken zu befestigen, um die Flügelplatten auszubilden. Die Längsversteifungen können auf einem anderen Bearbeitungswerkzeug als das Bearbeitungswerkzeug **40** gebohrt werden, auf welchem die Flügelhüllenplanken positioniert und gebohrt werden, jedoch führt dieses eine mögliche Fehlerquelle ein.

[0051] Die Längsversteifungen werden an den Flügelhüllenplanken **54** befestigt, um sie zu einer korrekt zusammengebauten unteren Flügelplatte **32** aneinander zu befestigen, jedoch muss die endgültige Befestigung der Längsversteifungen **90** an den Flügelhüllenplanken **54** durchgeführt werden, bevor die Baugruppe eine vollständige Flügelplatte ist. Zahlreiche Flügelplattennietmaschinen sind bekannt, welche die Bohr- und Nietvorgänge mit der erforderlichen Genauigkeit und gleichmäßigen Qualität durchführen können. Eine solche Maschine ist in der Patentanmeldung Nr. 08/386,364 mit dem Titel „Fastener Verification System“, eingereicht am 7. Februar 1995 von Hanks et al. dargestellt. Eine weitere solche Maschine ist die in P/N 5,033,174, erteilt an Peter Zieve, beschriebene Bügelnietmaschine. Zusätzlich versteht es sich, dass das Nieten der Längsversteifungen auf denselben Sockeln **60** unter Verwendung von oberen und unteren an einem Portal angebrachten Bohr/Nieteinheiten, wie zum Beispiel die in dem Patent Nr. 5,231,747 dargestellte Struktur, durchgeführt werden könnte.

[0052] Nachdem alle die Niete, welche die Längsversteifungen **90** an den Flügelhüllenplanken **54** halten, installiert sind, wird die Flügelhülle durch Verwendung von Koordinationslöchern **94** in der Flügelplatte **30** und der Ausrichtungsstifte **82** auf den Sockeln **60** wieder auf den Haltebefestigungen **42** positioniert.

[0053] Mehrere Referenzflächen auf der Flügelplatte **30**, wie zum Beispiel Werkzeugkugeln oder Referenzstifte **96**, welche in präzise gebohrten Löchern in der Flügelplatte installiert sind, werden mit dem Fühler **84** in dem Bearbeitungswerkzeug **40** untersucht, um die tatsächliche Position der Flügelplatte **32** auf den Haltebefestigungen **42** zu bestimmen, und das Bearbeitungsprogramm wird mit der tatsächlichen Position der Flügelplatte **32** auf den Befestigungen **42** normiert. Eine Frässchneidevorrichtung ist in dem

Bearbeitungswerkzeug **40** angebracht und die Flügelplatte wird auf die exakten Kantenabmessungen, welche in der digitalen Produktdokumentation spezifiziert sind, zugeschnitten, um sicherzustellen, dass die Abmessungen an dem Flügel trotz eines Zuwachses hinsichtlich Länge und Breite aufgrund der zahlreichen während des Vernietens der Längsversteifungen **90** an der Flügelhülle **32** installierten Nieten wie spezifiziert sind. Dieser Schritt ist in Übereinstimmung mit einem der Prinzipien der Erfindung, nämlich dass die Anbringung von kritischen Selbstanordnungsmerkmalen in den Teilen und Baugruppen aufgeschoben wird, bis das Teil durch nachfolgende Prozesse verzerrt ist. Das heißt, dass eine Kantenbearbeitung und andere Zuschneidevorgänge vor der Befestigung der Längsversteifungen **90** an den Flügelhüllenplanken **54** durchgeführt worden sein könnten, dies jedoch eine Abschätzung des erwarteten Zuwachses, welchem die Baugruppe während des Vernietens ausgesetzt gewesen wäre, erfordert hätte. Diese Abschätzungen können recht genau sein und wurden für viele Jahre erfolgreich durchgeführt, jedoch besteht stets ein leichter Unvorhersehbarkeitsfaktor aufgrund der Variation in den Parametern des Prozesses zur Installation von Nieten, Verriegelungsbolzen, Hi-Locks und anderen Presssitzbefestigungsmitteln, wie zum Beispiel genauer Lochdurchmesser oder Rundheit des Loches aufgrund von Bohrerspitzenabnutzung, leichte Variationen in der Ansenk Tiefe des Nietlochs aufgrund der Maschineneinstellung und leichte Variationen im Nietdurchmesser. Sogar wenn sich diese Parameter völlig innerhalb der Toleranz befinden, können die Variationen hinsichtlich des Nieteingriffs, welchen sie in dem installierten Niet hervorrufen, sich in einem großen Teil wie einer Flügelplatte aufsummieren, so dass eine Variation in den Baugruppenabmessungen erzeugt wird, welche signifikant sein kann. Die Effekte dieser Variationen können eliminiert werden, indem die Anbringung von kritischen Merkmalen an den Teilen und Baugruppen zeitlich nach der Verzerrung durch Zusammenbau- und Herstellungsprozesse wie die Installation von Pressmittelbefestigungsmitteln, Wärmebehandlung und Kugelstrahlen eingeplant wird.

[0054] Wie in **Fig. 8** und **Fig. 8A** dargestellt, wird eine T-Profilsehne **100** an der Innenkante der untere Flügelplatte **32** positioniert, indem präzise in einem Außenflansch **102** der T-Profilsehne gebohrte Koordinationslöcher mit entsprechenden Koordinationslöchern ausgerichtet werden, welche in der Innenkante der Flügelplatte gebohrt sind. Eine genaue Platzierung der T-Profilsehne ist wichtig, weil sie zum Teil die Position des Flügels an dem Flugzeug bestimmt und auch weil ein vertikaler Flansch **104** an der T-Profilsehne in einer flachen vertikalen Ebene mit entsprechenden Flanschen an einer weiteren Flügelstruktur zur Anbringung einer Rumpfseitenfläche **106**, welche nachfolgend beschrieben wird, ausgerichtet sein muss. Die Fläche ist an den Flanschen

abgedichtet und ist die Innenstruktur des Flügeltreibstofftanks, so dass die Flansche für eine korrekte Passung der Rumpfseitenfläche **106** mit einer geringen Toleranz ausgerichtet sein müssen.

[0055] Eine Schaufelbefestigung **108** wird über dem T-Profilsehnensflansch **102** positioniert, indem in der Schaufelbefestigung vorgebohrte Koordinationslöcher mit den ausgerichteten Koordinationslöchern durch den T-Profilsehnensflansch und die Flügelhülle ausgerichtet werden. Die T-Profilsehne und Schaufelbefestigung werden unter Verwendung von vorläufigen Befestigungsmitteln durch die Koordinationslöcher in Position gehalten, und Befestigungsmittellocher mit der vollen Größe werden durch die Baugruppe gebohrt. Eine Reihe von vertikalen Schaufeln **110** an der Schaufelbefestigung ist dazu positioniert, bündig an einer flachen Seite auf jeder der unteren Flügellängsversteifungen **90** zu liegen, und wird daran gehalten und rückwärts mit Befestigungsmittellochern mit der vollen Größe durchbohrt. Die Schaufelbefestigung **108** und T-Profilsehne **100** werden abgebaut und entgratet, und die Löcher werden kalt bearbeitet, um ihre Ermüdungslebensdauer zu verbessern, weil die T-Profilsehne und Schaufelbefestigung ein Teil der Verbindung des Flügels mit dem Flügelstutzen in dem Flugzeugrumpf ist und die Verbindung einer hohen Beanspruchung und fluktuierenden Lasten ausgesetzt ist. Die T-Profilsehne **100** ist mit einem Dichtmittel beschichtet und mit Bolzen **112** an der Innenkante der unteren Flügelplatte **32** angebracht.

[0056] Die obere Flügelplatte **30** ist die letzte größere Unterbaugruppe, welche dem Flügelkasten zugefügt werden soll, und wird erst installiert, nachdem der untere Flügelkasten gebaut wurde. Jedoch kann die obere Flügelplatte **30** parallel zu der unteren Flügelplatte **32** gebaut werden oder wann immer die zeitliche Planung am Besten mit der Verfügbarkeit von Personal zusammentrifft. Die obere Flügelplatte **30** ist hinsichtlich ihrer Konstruktion und Aufbauprozesse sehr ähnlich zu denjenigen der unteren Flügelplatte **32**, so dass sie nicht separat beschrieben wird. Eine Ausnahme ist die Gestaltung der Komponente, genannt eine „Doppelplus-Profilsehne“ **116**, durch welche der Flügel an seiner oberen Flügelplatte **30** an dem Flügelstutzen (nicht dargestellt) in dem Flugzeugrumpf angebracht wird. Die Doppelplus-Profilsehne **116**, welche ebenfalls in [Fig. 8](#) dargestellt ist, hat obere und untere vertikale Flansche **118** und **120**, welche an der Rumpfhülle **122** bzw. an der Rumpfseitenfläche **106** befestigt werden, wenn der Flügel an dem Flugzeug angebracht wird. Zwei zusätzliche vertikal beabstandete seitlich hervorstehende Flansche **124** und **126** auf jeder Seite der Doppelplus-Profilsehne **116** kommen mit dem Flügelstutzen auf der Innenseite in Eingriff und nehmen das Innenende der oberen Flügelplatte **30** auf der Außenseite der Doppelplus-Profilsehne auf. An dem Innenende durch die

obere Flügelhülle und die Längsversteifungen **90** gebohrte Koordinationslöcher werden mit entsprechenden Koordinationslöchern, welche in die seitlich hervorstehenden Flansche **126** gebohrt sind, ausgerichtet, um die obere Seite des Flügelkastens korrekt zu positionieren, wenn er an dem Flügelstutzen angebracht wird.

[0057] Holminnenrippen **38** werden gefertigt und zum Einbau in den Flügel zu dem Flügelhauptzusammenbaubereich gebracht. Die Rippen **38** sind im Wesentlichen von zwei Typen: maschinell bearbeitete Rippen und aufgebaute Rippen. Maschinell bearbeitete Rippen werden aus einer massiven Aluminiumscheibe gearbeitet und haben den Vorteil einer größeren Abmessungsgenauigkeit. Bis zur Einführung einer maschinellen Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, welche die maschinelle Bearbeitung von dünnwandigen Strukturen ohne das Problem einer Verzerrung aufgrund von räumlich begrenzter Erwärmung durch die Schneidevorrichtung ermöglicht, war es jedoch notwendig, die Struktur schwerer als von einer Konstruktionsanalyse für erwartete Lasten gefordert zu machen, um eine Wärmeverzerrung der dünnen Wände zu verhindern. Das größere Gewicht und die größeren Kosten der maschinell bearbeiteten Komponenten hat die Akzeptanz von maschinell bearbeiteten Rippen und anderen Komponenten aus einem Guss verzögert, es werden jedoch neue Verfahren entwickelt, um die Probleme zu lösen, welche eine breitere Verwendung dieser Komponenten in Flugzeugstrukturen ermöglichen werden.

[0058] Aufgebaute Rippen **214**, dargestellt in [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#), werden unter Verwendung der determinanten Zusammenbauprozesse dieser Erfindung durch einen Prozess hergestellt, welcher ähnlich zu demjenigen ist, welcher verwendet wird, um Flügelholme herzustellen, der in der zuerst genannten US Provisional Application und in unserer begleitenden Anmeldung mit dem Titel „Determinant Spar Assembly“, welche gleichzeitig hiermit eingereicht ist, offenbart ist. Eine Rippenfläche **216** wird unter Verwendung eines Bearbeitungswerkzeugs, wie zum Beispiel ein an einem Portal angebrachtes Bearbeitungswerkzeug, welches dazu programmiert ist, eine Schneidevorrichtung um das Profil der Rippenfläche **216** herum zu fahren, aus einem Aluminiumblech herausgeschnitten. Die Rippenflächenprofildaten werden von der Konstruktionsautorität, welche für die digitale Produktdefinition für den Flügel und die Rippen verantwortlich ist, in das Bearbeitungswerkzeugsteuerprogramm eingegeben. Die Position von oberen und unteren Rippenprofilsehnen **218** und **220** auf der Rippenfläche **216** bestimmen das Höhenprofil der Rippe **214** und somit das Profil in der Tiefenrichtung des Flügels, so dass sie präzise auf der Rippenfläche **216** positioniert werden müssen. Die Rippenprofilsehnen werden auf der Rippenfläche **214** unter Verwendung einer genauen Positionierungs- und Halte-

technik positioniert, wie zum Beispiel derjenigen, welche in der zuvor genannten Provisional Application und PCT-Anmeldung mit dem Titel „Determinant Spar Assembly“ dargestellt ist. Befestigungsmittellocher werden durch die festgehaltene Rippenfläche **216** und Rippenprofilsehnen **218** und **220** gebohrt und Presssitzbefestigungsmittel werden eingesetzt und befestigt. Nachdem die Befestigungsmittel befestigt sind und die Rippe durch die Presssitzbefestigungsmittel vollständig verzerrt ist, wird die Rippenfläche **216** abschließend auf die vorgesehenen Längen zugeschnitten. Koordinationslöcher werden zur Befestigung an den Rippensäulen **204** an den Flügelholmen in die zwei Enden der Rippe **214** gebohrt. Die Positionen der Rippensäulenkoordinationslöcher werden genau eingestellt, wobei ein Bearbeitungswerkzeug, wie zum Beispiel das Bearbeitungswerkzeug **40** verwendet wird, welches eine Steuerung aufweist, die mit den Koordinationslochpositionen aus der digitalen Rippendefinition programmiert ist.

[0059] Phenolunterlegscheiben **222**, welche in Fig. 7 dargestellt sind, werden an Kontaktpositionen zwischen den Rippenprofilsehnen und den Längsversteifungen **90** an die Rippenprofilsehnen **218** und **220** geklebt. Diese Unterlegscheiben werden geringfügig dicker hergestellt als erforderlich und werden durch das Bearbeitungswerkzeug, auf welchem die Rippen hergestellt werden, oder einem anderen Bearbeitungswerkzeug mit geeigneter Genauigkeit maschinell in die korrekte Dicke gearbeitet, um den Rippen **38** die korrekte Höhe zu verleihen, wie sie in der digitalen Teildefinition der Rippen vorgesehen ist. Die Phenolunterlegscheiben **222** bilden eine Lagerfläche zwischen den Rippen **38** und den Längsversteifungen **90**, um einer relativen Bewegung zwischen den Rippen **38** und den Flügelplatten **30** und **32** Rechnung zu tragen, wenn sich der Flügel während des Fluges biegt. Bei dieser geklebten Aufbringung dient die Unterlegscheibe auch als eine Opfermaterialunterlage, welche zurückgestutzt werden kann, um die Höhe der Rippen **38** genau so zu machen, wie sie in der digitalen Teildefinition der Rippen spezifiziert ist.

[0060] Der Flügelhauptzusammenbau wird auf den Haltebefestigungen **42** durchgeführt, nachdem die Längsversteifungen **90** alle an der Flügelplatte **30** befestigt worden sind. Die Flügelplatte wird mit der Längsversteifungsseite nach oben auf den Haltebefestigungen **42** positioniert und in Position bewegt, so dass wenigstens ein Koordinationsloch in der Flügelplatte mit einem entsprechenden Positionsloch in einem der Sockel **60** ausgerichtet wird. Zweckmäßigerweise kann die Flügelplatte **30** auf einem Luftkissen unterstützt werden, indem eine Luftpumpe an die Leitungen in den Sockeln **60** angeschlossen wird, welche normalerweise ein Vakuum für die Saugnäpfe **88** bereitstellen. Wenn die Flügelplatte **30** präzise auf den Sockeln **60** positioniert ist, wird ein Indexstift durch das Koordinationsloch oder die Koordinations-

löcher in der Flügelplatte und den Sockeln **60** eingeführt, und die Saugnäpfe **88** werden mit der Vakuumquelle **190** verbunden, um die Flügelplatte **30** gegen die Kontaktfelder **62** auf den Sockeln **60** zu ziehen und sie sicher in Position zu halten.

[0061] Die Flügelplatte **32** wird, wenn sie auf den Sockeln **60** positioniert und festgehalten ist, mit dem berührungsempfindlichen Fühler **84** untersucht, um die Koordinationsmerkmale, wie zum Beispiel die Werkzeugkugel oder in die Flügelplatte gearbeitete Merkmale, wie zum Beispiel Koordinationslöcher, zu lokalisieren. Die vorbestimmten Positionen der Merkmale, welche auf der Platte **30** untersucht werden, wurden in die digitale Teildefinition aufgenommen, und die tatsächlichen Positionen wie erfasst werden mit den vorbestimmten Positionen verglichen. Das Bearbeitungsprogramm wird normiert, so dass es mit der tatsächlichen Position der Platte auf den Sockeln **60** übereinstimmt, so dass nachfolgende Vorgänge präzise auf der Platte in ihrer tatsächlichen Position durchgeführt werden.

[0062] Ein Programm in der Steuerung des Bearbeitungswerkzeugs **40** wird gestartet, um eine Bearbeitungsschneidevorrichtung um die Kanten der Flügelplatte herum zu fahren, um die Platte **32** abschließend in der Größe zuzuschneiden. Durchführen dieses abschließenden Zuschneidevorgangs, nachdem alle die Längsversteifungsbefestigungsmittel installiert worden sind, und nicht vorher, eliminiert den Größenverzerrungseffekt der vielen Längsversteifungsbefestigungsmittel, so dass die Abmessungen der Flügelplatte **30** genau wie in der Produktdefinition spezifiziert sind.

Anbringung der Holme und Rippen

[0063] Die Bearbeitungswerkzeugsteuerung **78** ist mit den Positionen von Koordinationslöchern an den Innenenden des vorderen und hinteren Holms **36** und **34** und Löchern in den Längsversteifungen **90** der unteren Flügelplatte **32** für Rippe-zu-Längsversteifung-Bolzen programmiert, und das Bearbeitungswerkzeug bohrt diese Löcher, wonach das Portal zurückgezogen wird. Ein Dichtmittel wird auf die untere Profilsehne von einem der Holme aufgebracht, und der Holm wird auf der Kante der Flügelplatte platziert, wobei das Innenkoordinationsloch mit einem in die Flügelplatte gebohrten Koordinationsloch ausgerichtet ist. Das andere Ende des Holms ist präzise relativ zu der Kante der Flügelplatte positioniert, wobei eine oder mehrere Lehren/Klemmen **224**, dargestellt in Fig. 12, verwendet werden, welche präzise für diesen Zweck gearbeitet sind. Ein zweites Koordinationsloch an dem Außenende der Flügelplatte könnte ebenfalls verwendet werden, jedoch ist es die Kan tenbeziehung zwischen dem Holm und der Flügelplatte, welche zu diesem Zeitpunkt wichtig ist, nicht die Länge des Holms. Ein Prinzip der Erfindung ist

es, Abmessungen zu kontrollieren, welche wichtig sind, dies jedoch nur während sie wichtig sind; die Holmlänge ist in diesem Stadium des Zusammensetzung nicht wichtig, also wird nur die Kantenbeziehung des Holms zu der Flügelplatte kontrolliert. Ein Koordinationsloch, welches entlang des Holms sowie entlang der Tiefe ausgeweitet von der Kante der Flügelplatte **30** einzurasten hätte, hat einen unnötigen erforderlichen Präzisionsgrad, so dass Kantenlehren gegenüber einem Koordinationsloch für das Außenende des Holms bevorzugt werden.

[0064] Die in **Fig. 12** dargestellten Lehren/Klemmen **224** beinhalten jeweils einen Hauptteil **226** mit einem nach oben gerichteten Flansch **228** an einem Ende und einer Schulter **230** im mittleren Bereich des Hauptteils **226**. Der nach oben gerichtete Flansch **228** hat eine Endseitenfläche **232**, welche präzise geschliffen ist, um zu dem Winkel der Holmfläche **132** zu passen, und die Schulter **230** ist präzise geschliffen, so dass der Abstand zwischen der Seitenfläche **232** und der Schulter exakt derselbe ist wie der gewünschte Abstand zwischen der hinteren Oberfläche der Holmfläche **132** und der Vorderkante der Flügelplatte **32** an der für diese Lehre/Klemme **224** festgelegten Position. Ein vorläufiges Befestigungsmittel, wie z.B. das in **Fig. 20** dargestellte Cleco-Befestigungsmittel befestigt die Lehre/Klemme **224** an der unteren Kante des Holms **34** durch ein Loch, welches durch den nach oben gerichteten Flansch **228** und durch die Fläche **132** und die untere Profilsehne **136** des Holms **34** gebohrt ist.

[0065] Nachdem der Holm **34** an dem Innenende der unteren Flügelplatte **32** angeheftet ist und in der ungefähren Position relativ zu der Kante der Flügelplatte positioniert ist, werden die Lehren/Klemmen **224** an der unteren Kante des Holms **34** angebracht und die Schulter **230** wird gegen die Vorderkante der unteren Flügelplatte **32** geschmiegt. Eine Schraube **236** in dem Ende eines schwenkbar angebrachten Arms **238** einer Knebelklemme **240** wird gegen die Unterseite der Flügelplatte **32** festgezogen, um die Klemme an der Flügelplatte **32** zu sichern und den Holm **34** an der oberen Oberfläche der Flügelhülle **56** festzuhalten.

[0066] Entweder der vordere Holm **36** oder hintere Holm **34** könnte zuerst auf der Flügelplatte **32** platziert werden. Bei diesem ersten Ausführungsbeispiel wird der hintere Holm **34** aus Gründen der Zweckmäßigkeit zuerst platziert, jedoch bei einem Produktionsvorgang, bei welchem der vordere Holm **36** mit bereits angebrachten Vorderkantenbefestigungen angebracht wird, kann es wünschenswert sein, den vorderen Holm zuerst anzubringen, während das vordere freitragende Gewicht der Vorderkantenbefestigungen mit Auslegerkränen gehalten wird.

[0067] Der zuerst angebrachte Holm wird durch

Klemmen und/oder vorläufige Befestigungsmittel, wie z.B. wiederentfernbare Cleco-Befestigungsmittel, in Position gehalten. Wenn der vordere Holm mit Vorderkantenbefestigungen zuerst angebracht wird, werden vorläufige Holmhalterungen, wie z.B. die in **Fig. 13** dargestellten dreieckigen Strukturen **242**, an den Rippensäulen **204** befestigt und an Längsversteifungen **90** auf der unteren Flügelplatte **32** geklemmt, um dem Kippmoment, welches von dem Gewicht der Vorderkantenbefestigungen ausgeübt wird, entgegenzuwirken und den Holm während der Rippenpositionierung in Position zu halten.

[0068] Bestimmt der Rippen **38** werden auf den Längsversteifungen **90** platziert und durch die in den Rippensäulen **204** und den Enden der Rippen **38** vorgebohrten Koordinationslöcher an die Rippensäulen **204** befestigt. Dies sind die Rippen, welche zwischen dem vorderen und hinteren Holm **34** und **32** schwierig in Position zu manövrieren wären, nachdem sowohl der vordere als der hintere Holm an die Flügelplatte **32** angebracht ist. Ein Dichtmittel wird nun auf die untere Profilsehne des anderen Holms aufgebracht und er wird benachbart zu der anderen Kante auf die Flügelplatte **32** gelegt, und das Koordinationsloch in dem Innenende dieses Holms wird mit dem entsprechenden Koordinationsloch in der Flügelplatte **32** ausgerichtet und verstiftet. Die Enden der bereits in Position befindlichen Rippen **38** werden an den Rippensäulen **204** des zweiten Holms befestigt, und dieser Holm wird an der durch die Länge der Rippen **38** bestimmten Position in Position gehalten. Die anderen Rippen **38** werden alle zwischen den Holmen platziert und an die Holme an ihren jeweiligen Rippensäulen **204** in Position befestigt.

[0069] Die Rippen werden an den Rippensäulen befestigt, indem die Rippen an die Rippensäulen geklemmt werden und die Koordinationsstifte oder vorläufigen Befestigungsmittel einer nach dem anderen entfernt werden und dann die ausgerichteten Koordinationslöcher zur vollen Größe zum Einsetzen der permanenten Befestigungsmittel aufgebohrt und erweitert werden. Alternativ könnten die Koordinationslöcher in annähernd voller Größe gebohrt werden, so dass sie lediglich in einem Vorgang erweitert werden müssten, welcher schnell ist und hochwertige Löcher für die Befestigungsmittel produziert. Während das Befestigen der Rippen an den Holmrippensäulen fortgesetzt wird, werden die vorläufigen Holmhalterungen **242** entfernt.

[0070] Die genaue Positionierung der Holme an den Kanten der Flügelplatte und die genaue Anbringung der Rippen an den Rippensäulen an den Holmen stellt sicher, dass der Flügelkasten, welcher aus den Holmen, Rippen und zwei Flügelplatten gebildet ist, präzise in Übereinstimmung mit der digitalen Flügelproduktdefinition hergestellt wird. Variationen in den Abmessungen von unter Verwendung von Prozessen

gemäß dem Stand der Technik hergestellten Flügelkästen verursachten Schwierigkeiten beim Anbringen der Steuerflächenstrukturen, wie z.B. Vorderkantenvorflügel und Hinterkantenklappen, und verursachten auch Schwierigkeiten beim Anbringen des Flügels an dem Flugzeug. Diese Schwierigkeiten werden mit in Übereinstimmung mit dieser Erfindung hergestellten Flügelkästen aufgrund der kleinen Toleranzen, innerhalb welcher die Baugruppenabmessungen gehalten werden, größtenteils eliminiert. Die Fähigkeit, Flügel gemäß vorgesehenen Konstruktionsstoleranzen zu produzieren, ermöglicht zum ersten Mal die Verwendung von fortgeschrittenen Tolerierungstechniken bei der Flügelherstellung, wie z.B. diejenigen, welche in der PCT-Anmeldung Nr. PCT/US96/10757 von Atkinson, Miller und Scholz mit dem Titel „Statistical Tolerancing“ offenbart sind. In der Fabrik durch Reduktion oder Vermeidung von Nachbearbeitung alleine erreichte Einsparungen können die Kapitalkosten der Ausstattung, welche verwendet wird, um diese Erfindung anzuwenden, und eines Ausrangierens der herkömmlichen Flügelhauptzusammenbauwerkzeugbestückung rechtfertigen.

[0071] In Fig. 7 dargestellte Rippen-Bolzenbefestigungsmittel **244** werden in vorgebohrte Löcher durch die Längsversteifungsauffüllungen und Phenolunterlegscheiben **222** und die Rippenprofilsehnenflansche eingesetzt. Wenn wie bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel die geklebten Phenolunterlegscheiben verwendet werden, wurden sie bereits in die korrekte Höhe gearbeitet. Falls nicht, können separate Phenolunterlegscheiben zwischen die Längsversteifungsauffüllungen und die Rippenprofilsehne eingesetzt werden, bevor die Rippenbolzen **224** eingesetzt werden. Die in den Rippenprofilsehnenflanschen und den Längsversteifungsauffüllungen vorgebohrten Löcher sind Gleitpassungslöcher, um ein begrenztes Gleiten zwischen der Rippe **38** und der Längsversteifung **90** auf der Flügelplatte **30** zu ermöglichen, wenn sich der Flügel beim Flug biegt, so dass die Toleranzen auf diesen Rippen-Bolzenbefestigungsmittellochern etwas lockerer sein können als die Toleranzen auf den Koordinationslöchern, welche Teilpositionen in der Baugruppe bestimmen.

[0072] Mit den Holmen **36** und **34** und Rippen **38** aneinander befestigt und korrekt auf der unteren Flügelplatte **32** ausgerichtet werden die Holme nun vorläufig in Position befestigt. Klemmen werden angesetzt, welche vorzugsweise ein Teil der Kantenlehren **224** sind, welche die Position der Holme relativ zu der Vorder- und Hinterkante der Flügelplatte **32** einstellen, wie es in Fig. 12 dargestellt ist. Die Klemmen erzeugen einen ausreichenden Grenzflächendruck zwischen der unteren Holiprofilsehne **136** und der Flügelplatte **32**, um Zwischenschichtgrate daran zu hindern, in die Holm-/Plattenübergangsstelle einzudringen. Solche Grate würden eine einwandfreie Ver-

bindung zwischen dem Holm und der Flügelplatte **32** beeinträchtigen und aufgrund des Dichtmittels an der Übergangsstelle schwer zu entfernen sein. Löcher werden für vorübergehende Befestigungsmittel gebohrt, welche eingesetzt werden, um den Holm während der Installation der permanenten Befestigungsmittel in Position zu halten. Die Löcher für die vorläufigen Befestigungsmittel werden zu klein gebohrt, so dass, wenn die Befestigungsmittellocher mit der vollen Größe gebohrt werden, jegliche Kriechdehnung in den Abmessungen aufgrund von Verzerrung durch Einsetzen von Presssitzbefestigungsmitteln beseitigt wird. Andere Techniken zum Halten der Holme in Position, während sie befestigt werden, könnten anstelle der vorläufigen Befestigungsmittel ebenfalls verwendet werden.

[0073] Die Holme werden nun mit permanenten Befestigungsmitteln in Position an den Kanten der Flügelplatte **32** befestigt. Das Bearbeitungswerkzeug **40** bohrt von der unteren Oberfläche oder Hüllenseite Löcher in den unteren Flansch **144** der unteren Holiprofilsehne **136**. Wenn das spezielle verwendete Bearbeitungswerkzeug **40** nicht in der Lage ist, von unten zu bohren, wird es angewiesen, genaue Vorbohrungen von oben zu bohren, wobei die Vorbohrungen verwendet werden, um das Bohren und Ansenken von Befestigungsmittellochern durch herkömmliche elektrische Werkzeuge von unten zu führen. Befestigungsmittel werden eingesetzt und festgezogen, während das Bohren fortschreitet, so dass jeglicher differenzieller Längenzuwachs zwischen dem Holm und der Flügelplatte aufgezehrt wird, während die Befestigung entlang der Länge des Holms fortschreitet. Befestigungsmittel werden nicht in die Löcher eingesetzt, welche benachbart sind zu Bereichen hoher Beanspruchung, wie z.B. den Triebwerksstrebenbefestigungen, Fahrwerksanbringungsbefestigungen und der Rumpfseitenrippe, weil diese Löcher für eine kalte Bearbeitung vorgesehen sind und es nicht ratsam ist, Löcher im Beisein von einem nicht trockenen Dichtmittel kalt zu bearbeiten. Die kalt zu bearbeitenden Löcher werden bis später, nachdem das Dichtmittel ausgehärtet ist, belassen. Eine Verwendung von Presssitzbefestigungsmitteln mit einer abgerundeten Einführung minimiert das Erfordernis einer Kaltbearbeitung der Löcher. Nachdem das Dichtmittel ausgehärtet ist, werden diese Löcher in Bereichen hoher Beanspruchung kalt bearbeitet, erweitert und angesenkt, und die Befestigungsmittel werden installiert und festgezogen.

[0074] Als nächstes werden die Scherverbindungsrippen **38'** an der unteren Flügelplatte **32** befestigt. Wie in Fig. 14 dargestellt, haben die Scherverbindungsrippen **38'** Vorsprünge **246**, welche sich zwischen den Längsversteifungen erstrecken und in Flanschen oder Kontaktfeldern **248** enden, welche im Eingriff mit der Unterseite der Flügelhülle **56** und daran befestigt sind. Vorbohrungen, welche in den Feldern **248** wäh-

rend der Herstellung der Scherverbindungsrippen vorgebohrt sind, werden von dem Mechaniker verwendet, um zurück durch die Flügelhülle **56** zu bohren. Es ist nicht erforderlich, an jedem Feld zurückzubohren, da der Zweck darin besteht, die Position der schergebundenen Rippen festzulegen, welche flexibel sind und, auch wenn sie an ihren Enden an den Rippensäulen **204** in den Holmen befestigt sind, deutlich in der Spannweitenrichtung gebogen werden können, bis sie an den Längsversteifungen **90** und/oder der Flügelhülle **56** befestigt werden. Vorläufige Befestigungsmittel werden installiert, um die Scherverbindungsrippe **38'** in Position zu halten, während die permanenten angesenkten Befestigungsmittellocher von der Unterseite, d. h. von der Hüllenseite nach oben durch das Scherverbindungsfeld **248**, gebohrt werden. Die Löcher für die permanenten Befestigungsmittel können durch eine bodenbasierte Bohreinheit mit Gegengewicht, welche von einem Mechaniker betrieben wird, gebohrt werden oder werden vorzugsweise von einem Bearbeitungswerkzeug gebohrt, welches die Position der an ausgewählten Scherverbindungsfeldern gebohrten Vorböhrungen prüft, um die digitalen Daten aus dem Produktdefinitionsdatensatz mit der tatsächlichen Position der Scherverbindungsrippen wie durch die Vorböhrungen angezeigt zu normieren. Das Bearbeitungswerkzeug bohrt dann die Löcher für die permanenten Befestigungsmittel und senkt sie an. Vor der Installation der Befestigungsmittel führt der Mechaniker einen „Chip Chaser“, ein dünnes klingenartiges Werkzeug, durch die Übergangsstelle zwischen den Scherverbindungsrippenfeldern und der Flügelhülle, um jegliche Späne oder Grate zu entfernen, welche während des Bohrens in diese Übergangsstelle eingedrungen sein könnten. Die Befestigungsmittel werden von der Hüllenseite eingesetzt und auf der Innenseite von einem Mechaniker gesichert, welcher Muttern oder Kragen an den Befestigungsmitteln installiert und festzieht und sie mit dem geeigneten elektrischen Werkzeug festzieht.

[0075] Wie in [Fig. 15](#) dargestellt, sind drei Strebenebefestigungen **250** an der Unterseite der unteren Flügelplatte **32** an der Triebwerksstrebeposition positioniert und sind mittels in der Strebenebefestigung **250** vorgebohrter Koordinationslöcher zu Koordinationslöchern indexiert, welche mit dem Bearbeitungswerkzeug **40** in der Flügelplatte gebohrt sind. Innere Lastbefestigungen **252** sind an den Rippen **38** mittels präzise gebohrter Koordinationslöcher, welche während der Rippenherstellung vorgebohrt sind, angebracht, und die Strebenebefestigungen **250** sind an den inneren Lastbefestigungen **252** durch Befestigungsmittel angebracht, welche sich durch Löcher in der Flügelhülle **56** und ausgerichtete Löcher durch den Fuß der inneren Lastbefestigung **252** erstrecken. Die vorderen zwei Strebenebefestigungen sind an der unteren Holoprofilsehne durch Befestigungsmittel befestigt, welche sich durch Löcher erstrecken, die unter Ver-

wendung von digitalen Produktdefinitionsdaten, um die Steuerung **78** des Bearbeitungswerkzeugs **40** hinsichtlich der Positionen dieser Befestigungsmittellocher zu informieren, präzise von dem Bearbeitungswerkzeug **40** gebohrt sind. Es ist wichtig, dass die Strebenbefestigungen **250** präzise an dem Flügelkasten platziert werden, weil sie die Sicherungsstifte halten, welche die Triebwerksstrebe an dem Flügel tragen, und die Achse der Sicherungsstiftbohrungen **253** muss einwandfrei ausgerichtet sein, um eine problemlose Verbindung des Treibwerks mit dem Flügel sicherzustellen. Die präzise Bohrung der Koordinationslöcher unter Verwendung von Daten aus der digitalen Flügelproduktdefinition von der höchsten Konstruktionsautorität stellt sicher, dass die Triebwerksstrebenbefestigungen **250** präzise positioniert werden, wodurch jegliche nachgelagerte Probleme, welche durch fehlerhaft positionierte Strebenbefestigungen hervorgerufen würden, eliminiert oder minimiert werden. Vorläufige Befestigungsmittel werden in einige der ausgerichteten Koordinationslöcher eingesetzt, um die Triebwerksstrebenbefestigungen und internen Lastbefestigungen in Position zu halten, während Löcher für permanente Befestigungsmittel gebohrt werden. Das Bohren kann durch manuelle Elektrobohrer bewerkstelligt werden, wird jedoch vorzugsweise mit dem Bearbeitungswerkzeug **40** ausgeführt. Wenn die Löcher kalt bearbeitet werden sollen, wird die Strebenbefestigung entfernt, entgratet und die Befestigungsmittellocher in der Flügelplatte, den Rippen und der Strebenbefestigung **39** werden kalt bearbeitet und erweitert. Ein Passflächendichtmittel wird aufgebracht, und die Strebenbefestigung wird in ihre Position zurückgebracht, und die Befestigungsmittel werden von dem Mechaniker eingesetzt und festgezogen.

[0076] Wie in [Fig. 16](#) und [Fig. 17](#) dargestellt, sind Klappenaulagerbefestigungen **254** an der Unterseite der unteren Flügelplatte **32** angebracht, indem in den Klappenaulagerbefestigungen **254** vorgebohrte Koordinationslöcher und entsprechenden Koordinationslöcher in der Flügelplatte, welche von oben mit dem Bearbeitungswerkzeug **40** gebohrt sind, ausgerichtet werden. Diese Koordinationslöcher können Befestigungsmittellocher voller Größe sein, da sie nicht als Vorböhrungen für ein Zurückbohren oder als Löcher für vorläufige Befestigungsmittel verwendet werden. Die Löcher werden kalt bearbeitet und erweitert, und die Befestigungsmittel werden installiert und festgezogen, um die Klappenaulagerbefestigungen in Position zu befestigen. Entsprechende Klappenhalterungsbefestigungen **256** werden während des Holmaufbaus an dem hinteren Holm **34** angebracht, indem in den Klappenhalterungsbefestigungen **256** und der Holmfläche **132** vorgebohrte Koordinationslöcher **257** ausgerichtet werden und sie in der ausgerichteten Position aneinander befestigt werden.

[0077] Ein Abschließen des Flügels beinhaltet eine

Anbringung der oberen Flügelplatte **30** an dem Flügelkastengestell. Ein Dichtmittel wird auf die Flansche der oberen Profilsehnen **134** aufgebracht, und die obere Flügelplatte **30** wird mit einem Kran angehoben und auf die zusammengefügten Holme und Rippen der unteren Flügelkastenbaugruppe abgesenkt. Die obere Flügelplatte **30** wird mittels eines Koordinationslochs, welches während des Aufbaus der Platte in das Innenende der Flügelplatte **30** gebohrt wird, und eines entsprechenden Koordinationslochs, welches während des Aufbaus des Holms in das Innenende des Holms, vorzugsweise in die Abschlussendbefestigung **206**, gebohrt wird, an dem Innenende der Holme indexiert. Ein weiteres Paar von Koordinationsmerkmalen an der oberen Flügelplatte **30** und der unteren Flügelkastenbaugruppe wird relativ zueinander positioniert, um die Position der oberen Flügelplatte **30** eindeutig auf der unteren Flügelkastenbaugruppe festzulegen. Dieses weitere Paar von Koordinationsmerkmalen könnte in Koordinationslöchern in der Kante der oberen Flügelplatte und in der oberen Holmprofilsehne **134** des vorderen oder hinteren Holms **36** oder **34** oder vorzugsweise einer Koordinationsfläche an der Vorderkante der oberen Flügelplatte und der entsprechenden Kante des vorderen Holms, welche mit einem Kantenpositionierungswerkzeug und einer Klemme wie die in [Fig. 12](#) dargestellte Lehre/Klemme **224** relativ zueinander positioniert sind, bestehen.

[0078] Die einwandfreie Positionierung der oberen Flügelplatte **30** auf dem unteren Flügelkasten stellt sicher, dass der vertikale Flansch **120** der Doppelplus-Profilsehne **116** an der Innenkante der oberen Flügelplatte **30** in einer vertikalen Ebene mit dem vertikalen Flansch **104** der T-Profilsehne **100** an der Innenkante der unteren Flügelplatte **32** und ebenso mit den nach innen gerichteten Flanschen an den Abschlussendbefestigungen **206** an dem vorderen und hinteren Holm **36** und **34** ausgerichtet ist. Die Ausrichtung dieser vier Flansche stellt sicher, dass die Rumpfseitenrippenfläche **106** flach an allen vier Flanschen anliegt und sich damit zuverlässig und permanent versiegelt, wenn sie angebracht wird.

[0079] Die obere Flügelplatte **30** wird unter Verwendung von Kantenklemmen wie die in [Fig. 12](#) dargestellten Klemmen **224** oder dergleichen in ihrer ordnungsgemäß indexierten Position gehalten. Rippenbolzen **244** werden durch vorgebohrte Löcher in den oberen Rippenprofilsehnen und den Längsversteifungen **90** eingesetzt, wie es in [Fig. 7](#) dargestellt ist. Weil der Flügelkasten nun durch die obere Flügelplatte **30** verschlossen ist, besteht ein Zugang in das Innere des Flügelkastens durch die Zugangsöffnungen **258** in der unteren Flügelplatte **32**. Ein kleiner Mechaniker kriecht durch die Zugangsöffnung **258** zwischen jede Rippe und setzt einen Rippenbolzen **244** in die ausgerichteten Löcher in den oberen Rippenprofilsehnen und den Längsversteifungen **90** ein und zieht

dann die Bolzen fest. Die genaue Kontrolle über die Position der Längsversteifungen **90**, wenn die Flügelplatten aufgebaut werden, ermöglicht es, die Rippenbolzenlöcher vorzubohren und mit den Rippenbolzenlöchern in den Längsversteifungen **90** auf eine Linie zu bringen, wenn die obere Flügelplatte ordnungsgemäß auf dem unteren Flügelkasten positioniert wird, wodurch das Erfordernis, die Rippenbolzenlöcher von innerhalb des Flügelkastens zu bohren, eliminiert wird und auch die Verwendung von weitaus kleineren Auffüllungen für die Rippen und Längsversteifungen, wo sie durch die Rippenbolzen aneinander befestigt sind, ermöglicht wird. Ein Vorbohren der Rippenbolzenlöcher hat auch den Vorteil, den Mittelabschnitt der Rippe, welcher etwas flexibel ist, ordnungsgemäß präzise entlang der Längsversteifungen **90** in der Spannweitenrichtung des Flügels zu positionieren.

[0080] Mit der oberen Flügelplatte **30** nun sicher an den Rippen **38** befestigt und an die Holme **34** und **36** geklemmt, werden vorläufige Vorbohrungen von dem Mechaniker unter Verwendung eines manuellen Elektrobohrers von der Innenseite des Flügelkastens nach oben in die Scherverbindungsflansche **260** an der Oberseite der Rippensäulen **204** und durch die Flügelhülle gebohrt. Eine Gegenkraft wird während des Zurückbohrrens von dem Bearbeitungswerkzeug **40** ausgeübt, um zu verhindern, dass die obere Flügelplatte **30** durch die während des Bohrens der Vorbohrungen auf den Bohrer ausgeübte Kraft von der oberen Holmprofilsehne **134** abgehoben wird. Vorläufige Befestigungsmittel werden in den Vorbohrungen installiert, um die Flügelplatte **30** sicher an der Holmprofilsehne **134** zu halten, während die Löcher für permanente Befestigungsmittel gebohrt werden, so dass keine Späne oder Grate in die Übergangsstelle zwischen der Holmprofilsehne und der oberen Flügelplatte eindringen. Die exakte Kontrolle der Rippenhöhe und des Rippenprofils, indem die Position der Rippenprofilsehnen an den Rippenflächen kontrolliert wird, stellt sicher, dass die Höhe und Kontur der Rippen und der Holmprofilsehnen einander genau entsprechen, so dass die Längsversteifungen **90** der Flügelplatte auf den Rippenprofilsehnen liegen und die Flügelhülle ohne jegliche Diskontinuität, welche ein Ausgleichen durch Beilagen erfordern würde, gleichmäßig über den Holmprofilsehnen liegt.

[0081] Das Bearbeitungswerkzeug **40** wird zu den Holm-zu-Flügelplatte-Befestigungsmittelpositionen geführt, wobei Daten aus der digitalen Flügelproduktdefinition verwendet werden, welche die Positionen und Größen der Befestigungsmittel spezifiziert. Die Befestigungsmittellocher sollten exakt senkrecht zu der Oberfläche der Flügelhülle sein, so dass die Ansenkungsachse an der Befestigungsmittelposition ebenfalls exakt senkrecht zu der Flügelhülle ist. Ein Befestigungsmittel mit konischem Kopf, welches in ein ordnungsgemäß senkrecht zu der Oberfläche der

Flügelhülle an der Befestigungsmittelposition gebohrtes Loch eingesetzt ist, wird mit seinem Kopfbündig zu der Oberfläche der Flügelhülle in der Ansenkung liegen. Bei einem solchen Befestigungsmittel in einem nicht senkrechten Befestigungsmittelloch würde eine Kante des konischen Kopfes des Befestigungsmittels aus der Ansenkung hervorsteht, und die gegenüberliegende Kante wäre unter die Oberfläche zurückgezogen. Es gibt nichts, was ein Befestigungsmittel, das auf diese Weise nicht ordnungsgemäß installiert ist, akzeptabel machen kann. Ein Nachschneiden des Kopfes entfernt die hervorstehende Kante, hinterlässt jedoch diese Seite des Kopfes zu schmal. Die vertiefte Kante des Kopfes verbleibt zurückgezogen und ein Nachschneiden oder Schleifen der Flügeloberfläche ist keine akzeptable Fehlerbehebung. Um sicherzustellen, dass die Befestigungsmittellocher senkrecht zu der Flügeloberfläche gebohrt werden, kann ein sich selbst senkrecht ausrichtender Bohrkopf verwendet werden, wie er in der US-Patentanmeldung Nr. 08/785,821, eingereicht am 8. Januar 1997 von Gregory Clark, mit dem Titel „Self-Normalizing Drill Head“ dargestellt ist.

[0082] Das Bearbeitungswerkzeug 40 bohrt und senkt die Befestigungsmittellocher an und setzt die Befestigungsmittel ein. Ein Mechaniker innerhalb des Flügelkastens installiert die Muttern oder Kragen und zieht die Befestigungsmittel mit einem elektrischen Werkzeug fest, während die Befestigungsmittel eingesetzt werden. Die Löcher werden in die Flügelhülle gebohrt und angesenkt, und die Löcher erstrecken sich durch den oberen Flansch an der Holmprofilsehne. Ein Druckfuß an dem Bohrkopf übt eine Andruckkraft aus, um die Klemmen und die vorläufigen Befestigungsmittel dabei zu unterstützen, den Druck an der Übergangsstelle zwischen der Flügelhülle und den Holmprofilsehnen zu halten, um Späne und Grate daran zu hindern, in diese Übergangsstelle einzudringen. Die Andruckkraft hilft auch dabei, jegliches überschüssiges Dichtmittel herauszudrücken, was zu sehr wenig Dichtmittel auf den Spänen führt, so dass sie abgesaugt werden können, ohne das Spansaugsystem mit Dichtmittel zu verschmutzen. Vorläufige Befestigungsmittel können in den Löchern installiert werden, welche eine Kaltbearbeitung erfordern, bis das Dichtmittel aushärtet, wonach die Löcher kalt bearbeitet und erweitert und die permanenten Befestigungsmittel installiert werden können.

[0083] Die obere Flügelplatte 30 wird wie in Fig. 14 dargestellt an den Scherverbindungsrippen 38' befestigt, indem Befestigungsmittellocher mit dem Bearbeitungswerkzeug 40 von oberhalb der Flügelhülle gebohrt werden, wobei die digitale Produktdefinition verwendet wird, um die Bearbeitungswerkzeugsteuerung hinsichtlich der Position der Scherverbindungsfelder 248 unter der oberen Flügelhülle zu informieren. Wegen der Flexibilität der Rippen kann es für einen Mechaniker wünschenswert sein, Vorbohrungs-

löcher durch vorgebohrte Vorbohrungen in ausgewählten Scherverbindungsfeldern 248 zurückzubohren und Indexkopf-Heftbefestigungsmittel zu installieren, um die Position der Zwischenabschnitte der Scherverbindungsrippen 38' gegenüber einer Biegung in der Spannweitenrichtung festzulegen. Das Bearbeitungswerkzeug 40 kann dann die Indexköpfe der Heftbefestigungsmittel erfassen und das Bearbeitungswerkzeugprogramm mit der tatsächlichen Position der Scherverbindungsrippen 38' basierend auf der Position der Indexköpfe normieren. Das Bearbeitungswerkzeug 40 bohrt Befestigungsmittellocher mit voller Größe von oberhalb der oberen Flügelhülle und senkt sie an, während ein Mechaniker innerhalb des Flügelkastens einen Chip Chaser zwischen den Scherverbindungsfeldern 248 und der Innenfläche der Flügelhülle durchführt. Das Bearbeitungswerkzeug 40 setzt die Befestigungsmittel ein, während der Mechaniker innerhalb des Flügelkastens die Muttern oder Kragen platziert und die Bolzen mit dem geeigneten elektrischen Werkzeug festzieht.

[0084] Querrudergelenkripen 130 werden an dem hinteren Holm 34 angebracht, um eine Querrudergelenkstange in Lagerbuchsen beabstandet zu dem Hinterteil des hinteren Holms zu halten. Es ist für den gleichmäßigen und problemlosen Betrieb des Querruders wichtig, dass die Lagerbuchsen in den Enden der Querrudergelenkripen präzise auf einer einzigen Achse parallel zu dem hinteren Holm ausgerichtet sind. Aufgrund der Länge der Querrudergelenkripen 130 wird eine kleine Abweichung in ihrer Position zu einer großen Abweichung der vorgesehenen Position der Gelenklagerbuchsen an dem Ende der Gelenkrippe vergrößert. Es wurde herausgefunden, dass sogar wenn die Querrudergelenkripen mit der bestmöglichen Genauigkeit angebracht wurden, während der Holm 34 aufgebaut wurde, die kleine Verzerrung, welche während des abschließenden Flügelkastenzusammenbaus hervorgerufen wurde, ausreichend war, um nicht akzeptable Verschiebungen der Enden der Gelenkripen zu erzeugen, so dass sie nicht mehr axial ausgerichtet waren. Daher ist in Ausübung dieser Erfindung die Anbringung der Gelenkripen zeitlich für ein Zusammenbau stadium eingeplant, nachdem der Großteil der verzerrenden Maßnahmen abgeschlossen ist.

[0085] Ein weiterer Faktor, welcher die Positionsgenauigkeit der Gelenklagerbuchse an der installierten Gelenkrippe 130 beeinflusst, ist der Effekt, welchen winzige Variationen der Positionierung des proximalen Endes, oder Anbringungsendes, der Querrudergelenkrippe 130 auf die Position der Gelenklagerbuchse haben. Sogar wenn Koordinationslöcher sehr genau in die Holmfläche und in das proximale Ende der Querrudergelenkrippe gebohrt werden, können sehr kleine lokale Variationen in der Ebenheit der gegenüberliegenden Flächen, Variationen in der senkrechten Ausrichtung in der Gelenkrippe zu ihrer An-

bringungsplatte am distalen Ende und andere kleine derartige Variationen einen deutlichen Effekt auf die Raumposition der Gelenklagerbuchse haben, nachdem die Rippe an dem hinteren Holm angebracht ist.

[0086] Um in Übereinstimmung mit dieser Erfindung diese Probleme zu vermeiden, wird die Gelenklagerbuchse in dem Ende der Gelenkkrippe **130** in ihrer kritischen Raumposition festgelegt, und die Gelenkkrippe wird dort an dem Holm angebracht, wo sie die Holmfläche berührt. Dies vermeidet einfach die Schwierigkeiten, zu versuchen, alle die Faktoren zu kontrollieren, welche die Raumposition der Gelenklagerbuchse beeinflussen. Die Steuerung **78** des Bearbeitungswerkzeugs **40** führt das Bearbeitungswerkzeug **40**, um einen Anbringungsstift **262**, welcher von dem Bearbeitungswerkzeug **40** wie in [Fig. 18](#) gehalten wird, im Raum an der Position in Richtung des Hinterteils des hinteren Holms, welche von der digitalen Produktdefinition als die Position der Gelenklagerbuchse spezifiziert ist, zu positionieren. Die Gelenklagerbuchse in dem distalen Ende von einer der Gelenkkrippen wird auf den Anbringungsstift **262** geschoben, wobei sie präzise an ihrer von der digitalen Produktdefinition spezifizierten Position im Raum positioniert wird, und das proximale Ende der Gelenkkrippe wird an der durch die Raumposition der Gelenklagerbuchse bestimmten Position an dem Holm angebracht.

[0087] Die Rumpfseitenfläche wird an dem vertikalen Flansch **120** der Doppelplus-Profilsehne **116** und dem vertikalen Flansch **104** der T-Profilsehne **100** und an den zwei seitlichen Flanschen an der Abschlussendbefestigung **207** des Holms positioniert, wobei in die Rumpfseitenfläche **106** und die vier Flansche vorgebohrte Koordinationslöcher verwendet werden, wie es in [Fig. 8](#) und [Fig. 8A](#) dargestellt ist. Vorläufige Befestigungsmittel werden installiert, um die Rumpfseitenfläche **106** in Position zu halten, während Befestigungsmittellocher mit voller Größe durch die Fläche und die vier Flansche gebohrt werden. Die Fläche **106** wird entfernt und die Löcher entgratet, und die Passfläche der Fläche wird mit einem Dichtmittel beschichtet. Die beschichtete Fläche wird wieder an den Flanschen platziert, und Befestigungsmittel werden durch die Löcher eingesetzt. Ein Mechaniker innerhalb des Flügelkastens installiert Muttern oder Kragen an den Befestigungsmitteln und zieht sie mit dem geeigneten elektrischen Werkzeug fest.

[0088] Der determinante Zusammenbauprozess ist nicht auf das Zusammenfügen der Hauptkomponenten in der horizontalen oder liegenden Position beschränkt, welches in [Fig. 3](#) dargestellt ist und bei welchem die Wasserlinie des Flügels horizontal liegt. Eine weitere Zusammenbauorientierung ist die holmbasierte vertikale Orientierung oder Orientierung „auf der Kante“, wobei die Wasserlinie des Flügels wie in

[Fig. 19](#) dargestellt vertikal orientiert ist und wobei der hintere Holm als Basisteil verwendet wird, auf welchem die Baugruppe aufgebaut wird. Der hintere Holm wird mit der Holmfläche in der horizontalen Position auf einer Holmhalterungsstruktur **264** gehalten. Dieses Ausführungsbeispiel verwendet den hinteren Holm **34'** als die Basisunterbaugruppe, an welcher die Rippen und Flügelhüllen angebracht werden. Die Holmhalterungsstruktur **264** hält den hinteren Holm präzise in seiner theoretischen Form, während der Zusammenbauprozess fortschreitet. Rippen **38** werden an dem hinteren Holm **34'** positioniert, indem Koordinationslöcher in den Rippen, welche gemeinsam mit den Rippensäulen **204** sind, ausgerichtet werden. Vorläufige Halterungen werden angebracht, um die Rippen **38** zu stabilisieren, bis sie an dem vorderen Holm **36'** angebracht werden. Eine Reihe von Haltebefestigungen **266** ist vorgesehen, um den vorderen Holm **36'** in der theoretischen Wasserlinienposition relativ zu dem hinteren Holm **34'** zu halten. Die Haltebefestigungen **266** ermöglichen eine Verstellung des vorderen Holms **36'** nach oben und unten, da der Abstand zwischen den Rippenkoordinationslöchern den Abstand entlang der Tiefenrichtung zwischen dem vorderen und hinteren Holm bestimmt, genau wie es bei dem Ausführungsbeispiel von [Fig. 1](#) der Fall ist. Nachdem alle Befestigungsmittel installiert sind, um die Rippen an den Holmen zu befestigen, werden die vorläufigen Rippenhalterungen entfernt.

[0089] Die obere Flügelplatte wird an der inneren Flügelstruktur positioniert und präzise in Position gebracht, indem Ausrichtungsstifte durch ein Koordinationsloch in dem Innenende der Flügelplatte eingesetzt werden. Dieses Koordinationsloch ist mit dem Innenende des hinteren Holms **34'** gemeinsam. Sekundäre Außen- und Zwischenindexlöcher in dem hinteren Holm bieten eine zusätzliche Positionierung, dürfen jedoch eine gewisse Fehlausrichtung in der Spannweitenrichtung aufweisen, indem z.B. differenziell zu kleinen Löcher oder ein Schlitz in einem Teil verwendet wird. Die Flügelplattenbefestigung ist dazu ausgestaltet, das Gewicht der Flügelplatte zu halten, da die Ausrichtungsstifte durch die Koordinationslöcher normalerweise nicht dazu ausgestaltet sind, eine Last von dieser Größenordnung zu halten. Da die Plattenbefestigung nicht die einzige Maßgabe für die Flügelplattenpositionierung ist, ist sie mit Verstellmechanismen versehen, wie z.B. unabhängigen Winden und dergleichen, um eine Ausrichtung der Koordinationslöcher in der Flügelplatte und den Holmen zu erleichtern.

[0090] Nachdem die Flügelplatte an die Rippen und den vorderen Holm geschnallt oder gezogen ist, werden Befestigungsmittellocher mit voller Größe in Übereinstimmung in die Flügelhülle, den Holm und die Rippen gebohrt. Die Form des Flügels wird durch die Form und Positionierung der Rippen bestimmt. Es wird der Flügelhülle ermöglicht, sich an die Rippen

anzupassen, indem ausgehend von dem hinteren Holm begonnen wird und die Flügelhülle um die Rippe gelegt wird, indem fortschreitend Befestigungsmittel installiert werden, bis die Flügelhülle den vorderen Holm trifft. Es sind keine Koordinationslöcher erforderlich, welche gemeinsam für den vorderen Holm und die Vorderkante der Flügelhülle sind, und der Flügelentwurf ermöglicht ein leichtes Abfallen zwischen der festen Vorderkante und der Flügelhülle.

[0091] Nachdem die Befestigungsmittellocher gebohrt sind, wird die Flügelplatte von den Rippen und Holmen getrennt und entgratet, die Passflächen versiegelt und wieder an den Rippen und Holmen positioniert. Befestigungsmittel werden wie zuvor beschrieben installiert und festgezogen. Ein numerisch gesteuerter Spurbohrer, ein Bearbeitungswerkzeug oder dergleichen wird verwendet, um Löcher in die Hülle zu bohren, welche gemeinsam mit dem Holm sind, wodurch die Verwendung von Bohrschablonen eliminiert wird, welche derzeit in herkömmlichen Flügelherstellungsanlagen im allgemeinen Gebrauch sind. Die untere Hülle wird, genau wie es bei der oberen Hülle der Fall war, an dem hinteren Holm positioniert und indexiert. Schienen für Triebwerksgondel, Fahrwerk, Klappen und andere wichtige Halterungen werden unter Verwendung von Werkzeugen mit geringem Gewicht positioniert, welche an lokalisierten Schlüsselkoordinationslöchern in der Hülle ansetzen.

[0092] Eine holmbasierte horizontale Zusammenbautechnik ist in [Fig. 20](#) veranschaulicht. Diese Technik ermöglicht einen Zugang zu sowohl der oberen als auch der unteren Seite des Flügels und könnte potenziell für einen schnelleren Durchsatz und höhere Produktionsraten gleichzeitige Arbeitsabläufe an beiden Seiten ermöglichen.

[0093] Der vordere und hintere Holm **34** und **36** sind an Holmhalterungen **270** und **272** angebracht und gehalten, welche von feststehenden aufrechten Säulen **275** gehalten werden. Die Holmhalterungen **270** und **272** gleiten seitlich in Führungen oder Linearlagern in den Säulen **275**, um unterschiedlichen Flügelgrößen für Flugzeuge unterschiedlicher Modelle Rechnung zu tragen. Die seitliche Bewegungsfreiheit ermöglicht es den Holmen auch, sich selbst an den seitlichen Abstand zwischen Holmen, welcher durch in die Enden der Holminnenrippen gebohrten Koordinationslöcher bestimmt ist, anzupassen.

[0094] Zwei seitlich beabstandete Schienen **277** sind an starren Längsbalken **279** angebracht, welche über den Säulen **275** gehalten sind. Ein oberes Portal **280** ist für eine longitudinal verlaufende Bewegung an den Schienen **277** unter Steuerung der Steuerung **78** durch Verfahrmotoren **282** angebracht. Eine seitlich verlaufende Platte **286**, welche an Schienen **288** angebracht ist, die an dem Portal **280** befestigt sind, ist durch Eingriff einer Spindelmutter **290** mit einer

Kugelgewindespindel angetrieben. Die Kugelgewindespindel **292** ist von einem hinter der Platte **286** angebrachten Servomotor unter Steuerung der Steuerung **78** angebracht. Ein vertikaler Arm **295**, welcher an Linearlagern angebracht ist und von einem Antriebsmotor angetrieben ist, hat ein Gelenk **297**, welches sich in einen gewünschten Winkel schwenken kann und sich um die vertikale Achse des Arms **295** drehen kann. Das Gelenk hat einen Greifer, welcher eine mechanische und eine Energieverbindung für einen Endeffektor aufnimmt, so dass der Arm **295** einen Endeffektor an den gewünschten Positionen zum Bohren, Vermessen und Nachbearbeiten von Löchern und zum Einsetzen von Befestigungsmitteln positionieren kann.

[0095] Ein unteres Portal **300** ist zur longitudinalen Bewegung an Schienen **302** angebracht, welche an einer Schulter **304** benachbart zu den Innenkanten der Säulen **275** angebracht sind. Das Portal **300** hat einen Arm **308**, welcher wie der Arm **295** angebracht ist, außer dass das Arbeitsende an dem oberen Ende und nicht an dem unteren Ende ist, wie bei dem Arm **295** des Portals **280**. Im Übrigen sind die Portale **280** und **300** im Wesentlichen dieselben.

[0096] Im Betrieb werden die Holme **34** und **36** auf die Holmhalterungen **272** geladen und die Rippen werden auf den Rippensäulen an dem Holm indexiert und daran durch vorläufige Befestigungsmittel durch die Koordinationslöcher befestigt. Das obere und untere Portal werden verwendet, um die Befestigungsmittellocher zu bohren, und die Rippen werden entfernt, entgratet und ein Dichtmittel wird auf die den Rippensäulen gemeinsamen Passflächen aufgebracht. Die Rippen werden wieder in Position gebracht und der Endeffektor der Portale **280** und **300** setzt die Befestigungsmittel ein, welche von Arbeitern befestigt werden, welche den Portalen nachfolgen.

[0097] Nachdem alle Rippen angebracht sind, wird das untere Portal **300** in eine Parkposition an einem Ende seines longitudinalen Verfahrwegs jenseits der Flügelposition bewegt, und eine untere Flügelplatte **32** wird von einem Kran zu einer fahrbaren Tragvorrichtung transportiert, welche auf denselben Schienen **302** unterstützt ist, und auf der fahrbaren Tragvorrichtung in eine Position jenseits der Holme **34** und **36** und der Holminnenrippen bewegt. Die untere Flügelplatte **32** wird mit einer Reihe von vertikal teleskopierenden Halterungen zu der unteren Oberfläche der Holme **34** und **36** und der Holminnenrippen **38** angehoben, und wird durch Ausrichtung von vorgebohrten Koordinationslöchern in der Platte **32** und den Holmen **34** und **36** an den Holmen indexiert. Die Flügelplatte wird mit Gurten um jede Rippe vorläufig befestigt, und die vertikal teleskopierenden Halterungen werden zurückgezogen, was den Weg für das untere Portal **300** freigibt, sich hereinzubewegen und

zu beginnen, Befestigungsmittellocher zu bohren, um die Flügelplatte **32** an den Holmen und Rippen anzubringen. Der obere Portalarm **295** kann gegenüberliegend zu dem Arm **308** positioniert sein, um eine entgegenwirkende Haltekraft bereitzustellen, so dass verhindert wird, dass die Vorschubkraft auf den Bohrer in den Endeffektor in dem Arm **308** die Rippe oder Holiprofilsehnensflansche von der Flügelplatte **32** abhebt, wenn der Bohrer durch die Flügelplatte stößt, was es Zwischenschichtgraten ermöglichen könnte, zwischen die Oberflächen einzudringen. Es ist somit möglich, ein Dichtmittel aufzubringen, wenn die Flügelplatte **32** anfangs positioniert wird, da kein Bedarf für den gewöhnlichen Entgratungsschritt besteht.

[0098] Nachdem die untere Flügelplatte **32** angebracht ist, wird das obere Portal **280** in eine Parkposition jenseits der Flügelposition bewegt, und eine obere Flügelplatte **30** wird von einem Brückenkran direkt zu ihrer vorgesehenen Position auf den Holmen und Rippen transportiert. Die obere Flügelplatte **30** wird durch ausgerichtete Koordinationslöcher, welche in der Flügelplatte vorgebohrt sind und von einem durch den Portalarm **295** gehaltenen Endeffektor in die Holme **34** und **36** gebohrt sind, in ihrer korrekten Position indexiert. Indexstifte in den ausgerichteten Koordinationslöchern arretieren die Flügelplatte in der richtigen Position, und der Portalarm **295** bewegt sich zu den Positionen, welche von dem Bearbeitungsprogramm **68** vorgesehen sind, um Befestigungsmittellocher zu bohren. Abhängig von der Steifigkeit der Holiprofilsehnensflansche und der Rippenprofilsehnensflansche und der Bohrparameter, wie z.B. der Vorschubkraft, kann es notwendig sein, die Befestigungsmittellocher zu entgraten, indem die Flügelplatte **30** ausreichend hoch angehoben wird, um einen Zugang zu der unteren Seite der Flügelplatte **30** und der Oberseite der Holm- und Rippenprofilenhnens für den Entgratungsvorgang zu öffnen. Ein Dichtmittel wird aufgebracht und die Platte wird wieder in Position gebracht, und die Befestigungsmittel werden wie oben beschrieben eingesetzt und befestigt.

[0099] Ein Endzuschnitt der Holme und Flügelplatten kann mit Außenkonturschneidevorrichtungen in von den Armen **295** und **308** gehaltenen Endeffektoren durchgeführt werden. Koordinationslöcher für die weiteren oben genannten Komponenten werden von den Endeffektoren des Portals zur Anbringung nach Entfernung aus der Vorrichtung gebohrt. Die Querrudergelenkkrippen können unter Verwendung von Stiften, welche von den Endeffektoren der Portale an dem richtigen Raumpunkt gehalten werden, angebracht werden.

[0100] Es versteht sich, dass zwei in Fig. 20 dargestellte Halterungsbefestigungen nebeneinander positioniert werden könnten, so dass der Portalpositionierer/die Bearbeitungswerkzeuge an einem Ende am

Zusammenfügen des Flügels arbeiten könnten, während Arbeiter an dem anderen Ende einen zusammengebauten Flügel entfernen und die Komponenten für den nächsten zusammenzubauenden Flügel vorbereiten könnten.

[0101] Es ist somit ein System offenbart, welches verwendbar ist, um Flugzeugflügelunterbaugruppen mit einem hohen Präzisionsgrad und einer hohen Wiederholbarkeit zu einem vollständigen Flugzeugflügel zusammenzufügen. Das determinante Zusammenbaukonzept, welches in dieser Offenbarung ausgeführt ist, benutzt die räumlichen Beziehungen zwischen Schlüsselmerkmalen von Einzelteilen und Unterbaugruppen, wie sie in dem digitalen Entwurf definiert sind und welche durch Koordinationslöcher und andere Koordinationsmerkmale dargestellt sind, welche in die Teile und Unterbaugruppen von einem numerisch gesteuerten Werkzeug eingefügt werden, wobei die ursprünglichen Teilentwurfsdaten von der Konstruktionsquelle verwendet werden, um die relative Position von Einzelteilen in Unterbaugruppen und die relative Beziehung von Unterbaugruppen zueinander zu kontrollieren, was die Teile und Unterbaugruppen selbstpositionierend macht. Dieses Konzept beseitigt das Erfordernis für ein herkömmliches Hard Tooling, welches für Jahrzehnte in der Flugwerkeindustrie verwendet wurde, und ermöglicht zum ersten Mal den Aufbau von großen, schweren, flexiblen und halbflexiblen mechanischen Strukturen, wobei die Kontur der Struktur und die relativen Abmessungen innerhalb der Struktur durch die Teile selbst und nicht durch die Werkzeugbestückung bestimmt werden.

[0102] Auf diese Weise von einer feststehenden Werkzeugbestückung befreit, kann der Flügel nun so aufgebaut werden, dass einer durch Herstellungsprozesse, wie z.B. Presssitzbefestigungsmittel und Kaltbearbeitung, erzeugten Verzerrung Rechnung getragen wird, so dass eine Anbringung von kritischen Merkmalen an dem Flügel an präzise genauen Positionen, welche durch den Konstruktionsentwurf spezifiziert sind, bei dem Herstellungsprozess zeitlich nach einer Verzerrung durch vorgelagerte Prozesse eingeplant werden kann, welche ihre Position oder Ausrichtung an dem Flügel beeinträchtigt hätten. Die Fabrik kann nun innerhalb des physikalischen Einsatzbereichs der CNC-Bearbeitungswerkzeuge Flügel mit jeglicher Form und Größe herstellen, für welche Konstruktionsdaten bereitgestellt sind, und dies schneller und mit bei Weitem größerer Präzision als es mit einer feststehenden Werkzeugbestückung möglich war. Die Kosten eines Aufbaus und Erhalts der herkömmlichen Flügelkomponenten- und Flügelhauptwerkzeugbestückung und die Fabriknutzfläche für eine solche feststehende Werkzeugbestückung müssen nicht länger amortisiert werden und in den Preis des Flugzeugs eingerechnet werden, und es ist nun möglich, anwenderspezifische Flügel zu

bauen, um die speziellen Erfordernisse von bestimmten Kunden zu erfüllen.

[0103] Offensichtlich werden denjenigen mit Fachkenntnissen angesichts dieser Offenbarung zahlreiche Modifikationen und Variationen des hierin offenbarten Systems ersichtlich sein. Daher versteht es sich ausdrücklich, dass diese Modifikationen und Variationen und deren Äquivalente als innerhalb der Idee und des Umfangs der Erfindung wie in den nachfolgenden Ansprüchen definiert betrachtet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Flugzeugflügels, umfassend ein Zusammenfügen von Flügeleinzelteilen, so dass sie innerhalb bestimmter Toleranzen einem digitalen Flügelmodell in einer digitalen Flügeldefinition entsprechen, umfassend:

- Erzeugen einer digitalen Definition einschließlich eines digitalen Models von jedem der Flügeleinzelteile, wobei die Flügeleinzelteil-Digitalmodelle, wenn sie digital zusammengefügt werden, dem digitalen Flügelmodell entsprechen;

- Herstellen der Flügeleinzelteile in Übereinstimmung mit den Flügeleinzelteildefinitionen;

- Zusammenfügen der Einzelteile zu dem Produkt durch:

- a. Anordnen einer ersten großen Unterbaugruppe der Einzelteile auf einer Halterungsfläche einer Befestigung und in einer vorbestimmten räumlichen Orientierung auf der Halterungsfläche ausgerichtet;

- b. Positionieren anderer Teile relativ zu der ersten großen Unterbaugruppe, wobei das Positionieren von anderen Teilen relativ zu der ersten großen Unterbaugruppe ein maschinelles Herstellen von Koordinationsmerkmalen in den Teilen und ein Anordnen der Teile mit den Koordinationsmerkmalen in einer vorbestimmten Beziehung zueinander, um sie präzise relativ zueinander zu positionieren, beinhaltet; und

- c. Befestigen der anderen Teile in die Baugruppe, um den Flügel herzustellen;

dadurch gekennzeichnet, dass Schritt b umfasst:

- b1. Messen der tatsächlichen Position der ersten großen Unterbaugruppe, um deren tatsächliche Position auf der Befestigung zu bestimmen;

- b2. Normieren der Orientierung des digitalen Flügelmodels, so dass es der tatsächlichen Position der ersten großen Unterbaugruppe auf der Halterungsfläche entspricht;

- b3. Positionieren der anderen Teile in Übereinstimmung mit dem normierten digitalen Modell.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt des Messens der tatsächlichen Position der ersten großen Unterbaugruppe ein Messen der Positionen der Koordinationsmerkmale in den Teilen der Unterbaugruppe umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, umfassend in b2 den Schritt eines Normierens der Orientierung des digitalen Flügelmodels, so dass es den gemessenen Positionen der Koordinationsmerkmale in den Teilen der Unterbaugruppe entspricht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–3, wobei in b2 die Normierung der Orientierung eines verzerrten Teils oder einer verzerrten Baugruppe ein Erzeugen einer Best-Fit-Orientierung für das verzerrte Teil oder die verzerrte Baugruppe umfasst, um die Verzerrungseffekte zu minimieren.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Befestigen beinhaltet:

- a) Bohren von Befestigungsmittellochern durch angrenzende Abschnitte der Teile; und

- b) Einführen von Presssitzbefestigungsmitteln in die Löcher,

wobei eine Beseitigung von Abmessungsvariationen aufgrund einer durch die Befestigungsmitteleinführung hervorgerufenen Verzerrung erleichtert wird, indem die Befestigungsmitteleinführung in einer Zusammenfungssequenz vor einem abschließenden Beschneidevorgang angesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, darüber hinaus umfassend:

Zuweisen eines Prioritätsniveaus für jedes der Teile basierend zum Teil auf der Bedeutung der Abmessungsgenauigkeit der Teile für die Abmessungsgenauigkeit der Baugruppe; und

Bauen der Teile mit einer dem Prioritätsniveau entsprechenden Abmessungsgenauigkeit; und

Beibehalten der Abmessungsgenauigkeit der Teile für nur so lange, wie die Abmessungsgenauigkeit für die Abmessungsgenauigkeit der Baugruppe von Bedeutung ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, darüber hinaus umfassend:

Beschneiden der Halterungsfläche mit einem Beschneidewerkzeug unter Steuerung einer CNC-Steuerung in ein genaues Profil, welches in der digitalen Produktdefinition definiert ist, wobei Daten aus der digitalen Produktdefinition verwendet werden, um die Steuerung zu programmieren, bevor die erste große Unterbaugruppe auf der Halterungsfläche angeordnet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Schritt des maschinellen Herstellens ein Programmieren einer CNC-Steuerung eines präzisen Bearbeitungswerzeugs dazu, eine Schneidevorrichtung mit hoher Präzision zu Positionen zu bewegen, welche als Koordinationsmerkmale in der digitalen Produktdefinition und auf den Teilen ausgestaltet sind, um die Koordinationsmerkmale herauszuschneiden, beinhaltet.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5–8, wobei das Bohren beinhaltet:

Übermitteln der digitalen Produktdefinition an eine CNC-Steuerung eines Bearbeitungswerkzeugs; Fahren eines Bohrkopfes an dem Bearbeitungswerkzeug präzise an Befestigungsmittelpositionen, welche in der digitalen Produktdefinition spezifiziert sind; Zusammendrücken der Teile, um zu verhindern, dass an den Befestigungsmittelpositionen Grate in eine Übergangsstelle zwischen den Teilen eindringen; und Bohren der Löcher.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend:

- Positionieren einer Flügelplatte (30) auf einer Befestigung (42) und Festhalten der Platte auf der Befestigung;
- genaues Anordnen von kritischen Koordinationsmerkmalen in der Flügelplatte und in zwei Flügelholmen (34, 36) unter Verwendung eines numerisch gesteuerten Bearbeitungswerkzeugs (40), welches mit Teilprogrammen läuft, welche digitale Flügelproduktdefinitionsdaten (66) von einer Konstruktionsdatenquelle einbeziehen, wobei die kritischen Koordinationsmerkmale in der Flügelplatte an Positionen angeordnet sind, welche vorbestimmte Beziehungen zu entsprechenden Koordinationsmerkmalen in den Flügelholmen aufweisen, wenn die Holme präzise an vorbestimmten Positionen angeordnet sind, welche auf der Flügelplatte in der Tiefenrichtung voneinander beabstandet sind und durch die digitale Flügelproduktdefinition gegenüber der Flügelplatte spezifiziert sind, wobei die entscheidenden Merkmale in den Holmen und in der Flügelplatte in der vorbestimmten Beziehung zueinander positioniert sind;
- Befestigen der Flügelholme in fester Beziehung relativ zu der Flügelplatte in der vorbestimmten Position;
- Anordnen von kritischen Rippe-zu-Holm-Koordinationsmerkmalen in einer Vielzahl von Flügelrippen (38) und in den Holmen unter Verwendung von numerisch gesteuerten Bearbeitungswerkzeugen, welche mit Programmen laufen, die digitale Flügelproduktdefinitionsdaten von einer Konstruktionsdatenquelle einbeziehen, wobei die Rippen präzise an einer vorbestimmten Position positioniert werden, welche durch die digitale Flügelproduktdefinition bezüglich der Flügelholme definiert ist, wenn die kritischen Rippe-zu-Holm-Merkmale in den Rippen und den Flügelholmen in einer vorbestimmten Beziehung zueinander positioniert sind;
- Befestigen der Flügelrippen an den Flügelholmen in der vorbestimmten Position;
- Bohren einer Vielzahl von Längsversteifungen-zu-Sehne-Koordinationslöchern in Längsversteifungen (90) einer unteren Flügelplatte (32), welche an einer unteren Flügelplatte angebracht sind, und in einer unteren Holiprofilsehne (100) unter Verwendung eines numerisch gesteuerten Bearbeitungs-

werkzeugs, welches mit einem Programm läuft, welches die digitalen Flügelproduktdefinitionsdaten von der Konstruktionsdatenquelle einbezieht, wobei die untere Flügelplatte präzise in einer vorbestimmten Position positioniert wird, welche durch die digitale Flügelproduktdefinition relativ zu den Flügelholmen spezifiziert ist, wenn die kritischen Längsversteifung-zu-Profilsehne-Merkmale in den Rippen und den Flügelholmen in einer vorbestimmten Beziehung zueinander positioniert sind;

- Befestigen der Flügellängsversteifungen und der Flügelholme aneinander in der vorbestimmten Position;
- Räumliches Positionieren einer Referenzbefestigung relativ zu einem hinteren Holm an einer Position, welche einer vorbestimmten Position einer Gelenkachse entspricht, welche durch die digitale Flügelproduktdefinition relativ zu dem hinteren Flügelholm spezifiziert ist, wobei ein numerisch gesteuertes Bearbeitungswerkzeug verwendet wird, welches mit einem Programm läuft, welches die digitalen Flügelproduktdefinitionsdaten von der Konstruktionsdatenquelle einbezieht; und
- Schieben einer Gelenkhülse, welche an einem distalen Ende einer Gelenkkrippe angebracht ist, auf die Befestigung und Befestigen eines proximalen Endes der Gelenkkrippe an dem hinteren Holm an einer solchen Position, dass die Gelenkachse an der vorbestimmten Gelenkachsenposition verbleibt, wobei die Gelenkachse präzise an einer vorbestimmten Position positioniert wird, welche durch die digitale Flügelproduktdefinition relativ zu dem Flügel spezifiziert ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–9, umfassend ein Herstellen eines Flugzeugflügels mit oberen und unteren Formlinien, welche genau mit Entwurfsspezifikationen für den Flügel übereinstimmen, wobei der Flügel obere und untere Flügelhüllplatten (30, 32) mit jeweils inneren und äußeren Konturflächen aufweist, umfassend:

- Positionieren einer Vielzahl von Sockeln (42) auf einer Unterlage eines Bearbeitungswerkzeugs, wobei die Sockel, wenn sie auf der Bearbeitungswerkzeugunterlage positioniert sind, obere Konturen aufweisen, welche genau mit der gewünschten unteren Außenformlinie des Flügels übereinstimmen;
- Indexieren der unteren Flügelhüllplatte auf den Sockeln und Halten der unteren Flügelplatte (32) darauf, wobei deren untere Außenfläche genau mit der gewünschten Außenkontur übereinstimmt;
- Herstellen von Koordinationsmerkmalen in der unteren Flügelplatte auf dem Bearbeitungswerkzeug unter Verwendung von digitalen Flügelproduktdefinitionsdaten von einer Konstruktionsquelle für den Flügel, um das Bearbeitungswerkzeug hinsichtlich der Position der Koordinationsmerkmale zu programmieren;
- Aufbringen eines Dichtmittels auf Außenflächen von unteren Flanschen von vorderen und hinteren Flügelholmen (34, 36) und genaues Positionieren

des vorderen Flügelholms (**36**) auf der unteren Flügelplatte benachbart zu ihrer vorderen Kante und Positionieren des hinteren Flügelholms (**34**) auf der unteren Flügelplatte benachbart zu ihrer hinteren Kante unter Verwendung von Koordinationsmerkmalen auf den Holmen und den Koordinationsmerkmalen auf der unteren Flügelplatte;

- Befestigen eines der Holme an der Flügelplatte in einer festen Position benachbart zu einer ihrer Kanten und Befestigen des anderen der Holme an einem seiner Enden benachbart zu der anderen Kante der Flügelplatte;

- Bohren von Koordinationslöchern in die Endabschnitte einer Vielzahl von Holminnenrippen (**38**) und entsprechenden Koordinationslöchern in einer Vielzahl von Rippensäulen (**204**), welche an den Holmen an Positionen angebracht sind, welche den gewünschten Positionen der Holminnenrippen in dem Flügel entsprechen, wobei die Koordinationslöcher, die Rippensäulenkoordinationslöcher und die Rippenendenkoordinationslöcher präzise durch ein Bearbeitungswerzeug gebohrt wurden, welches mit Lochpositionsdaten aus den digitalen Flügelproduktdefinitionsdaten von der Konstruktionsquelle für den Flügel programmiert ist, wobei die Rippensäulenkoordinationslöcher und die Rippenendenkoordinationslöcher dazu positioniert sind, eine Scherverbindungsfläche und Längsversteifungskontaktflächen auf den Holminnenrippen an einer solchen Position zu positionieren, dass die Flügelplattenaußenkonturfläche genau mit der gewünschten Flügelkontur entspricht, wenn die Flügelplatte an den Holminnenrippen befestigt ist;

- Befestigen der Holminnenrippen an den Rippensäulen an Positionen, welche durch Einrastung der Rippensäulenkoordinationslöcher und der Rippenendenkoordinationslöcher bestimmt sind;

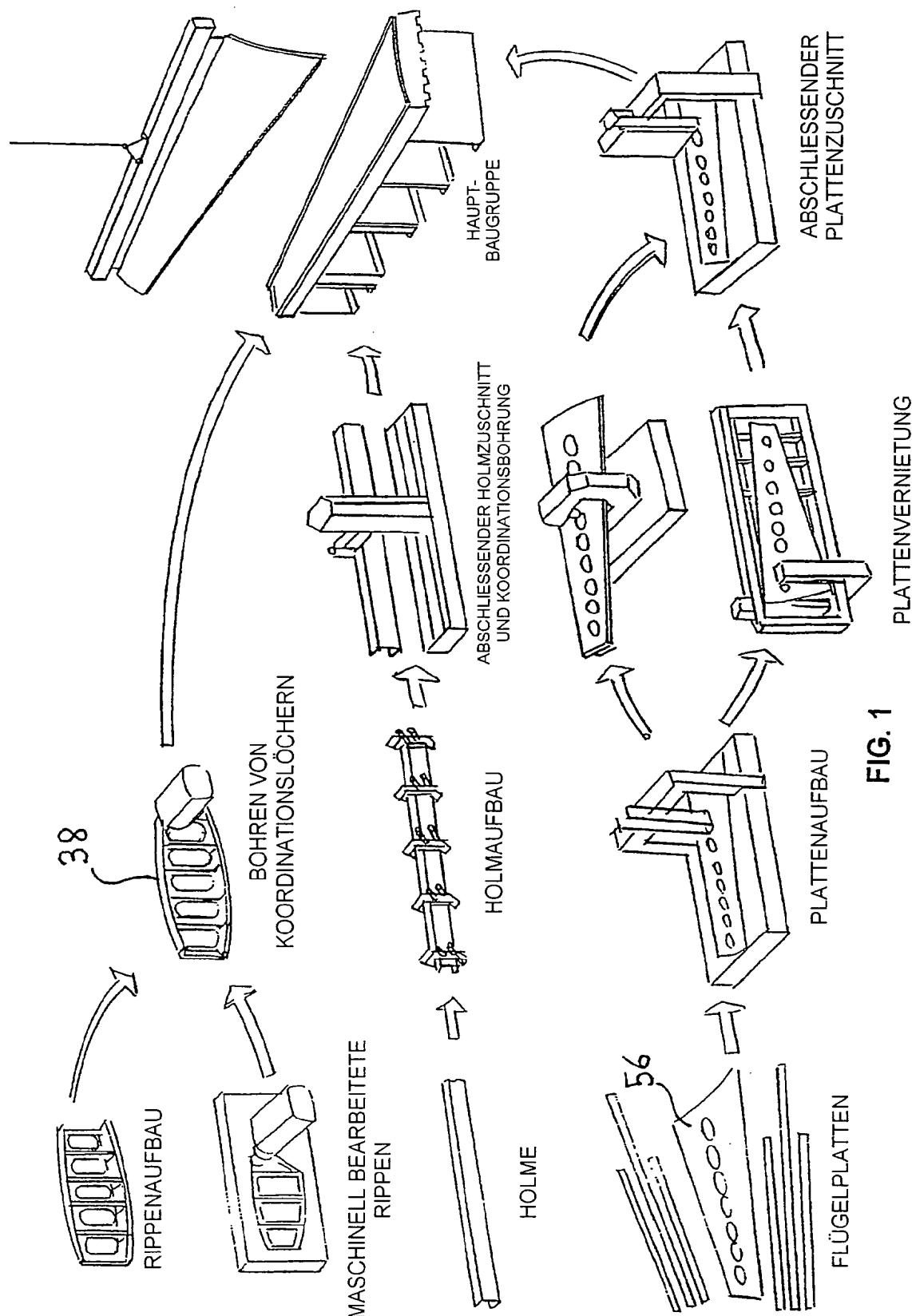
- Befestigen der vorderen und hinteren Holme an der unteren Flügelplatte durch Bohren von Löchern durch die Flügelplatte und durch die Holmflansche, Einführen von Befestigungsmitteln durch die Löcher und Befestigen der Befestigungsmittel in den Löchern; und

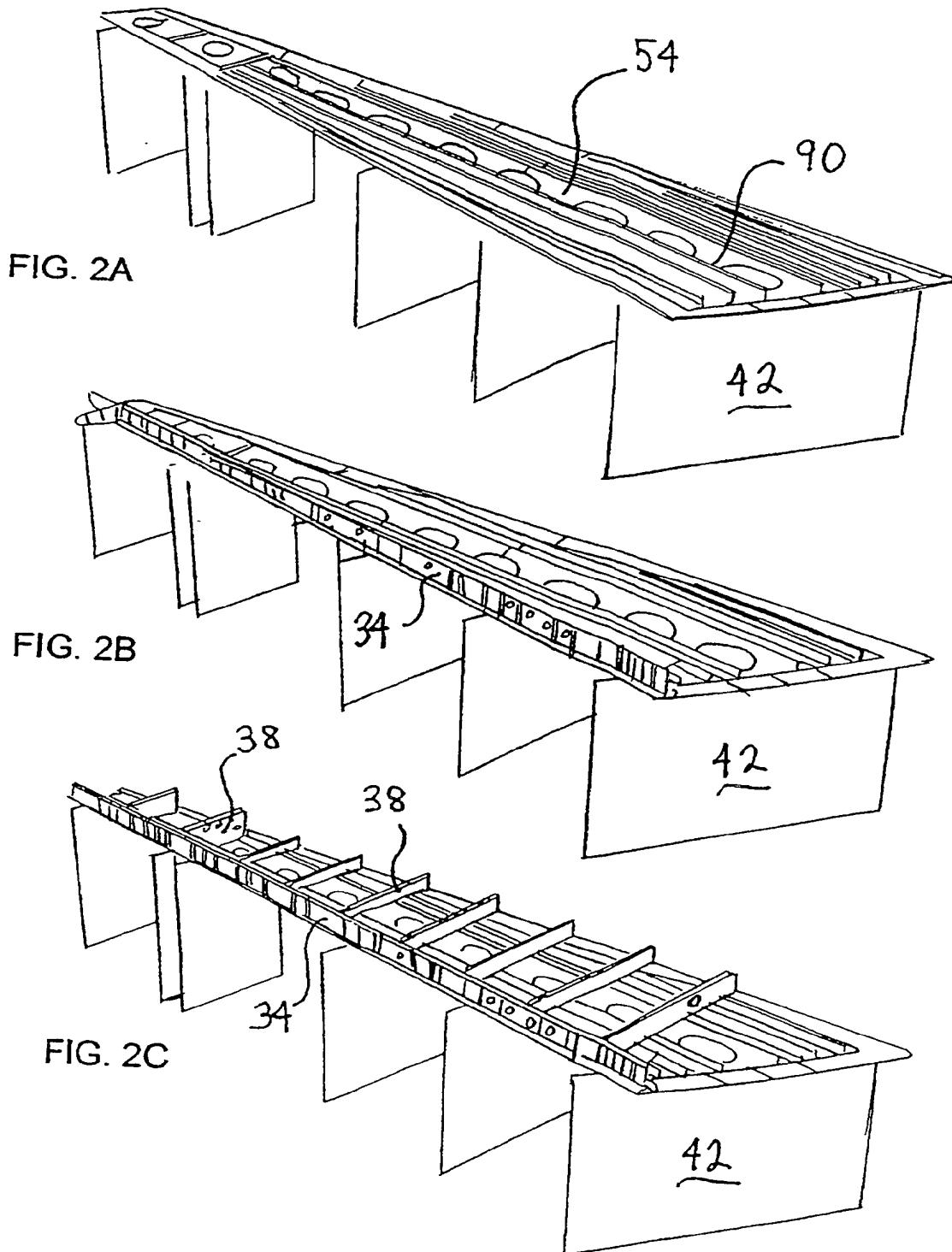
- Befestigen der unteren Flügelplatte an den Rippen und an den Holmen, um eine untere Flügelkastenbaugruppe herzustellen; und

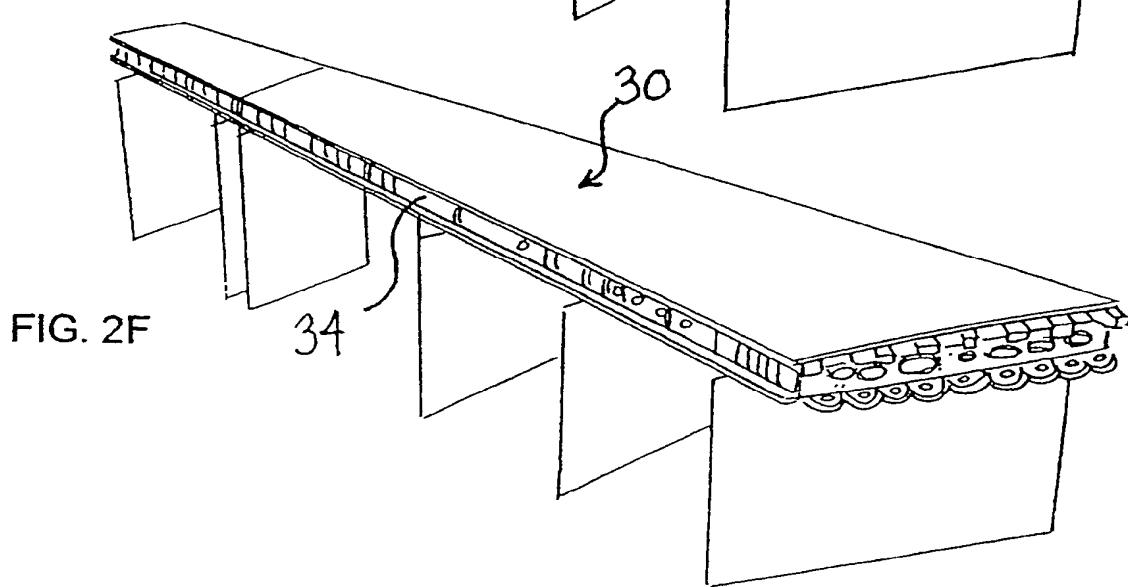
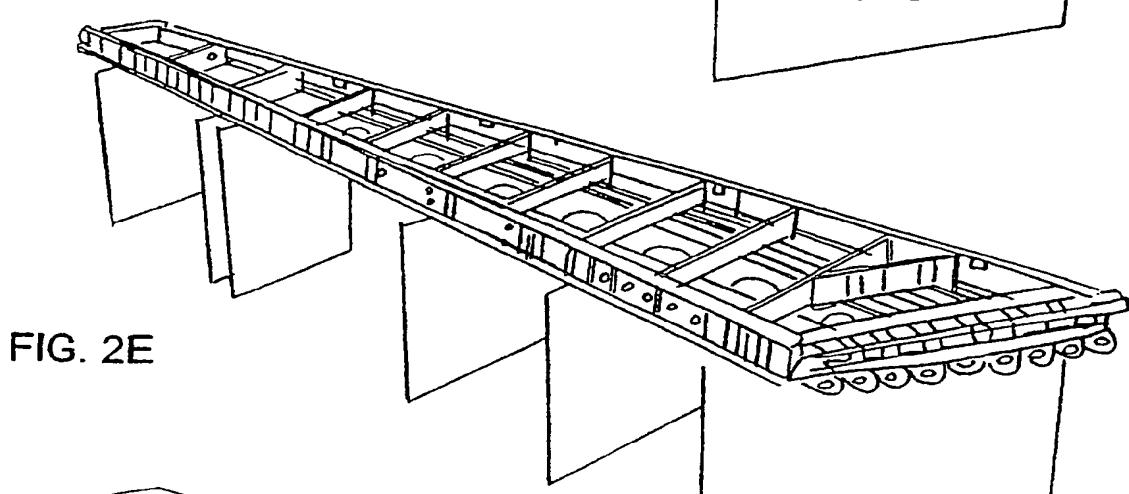
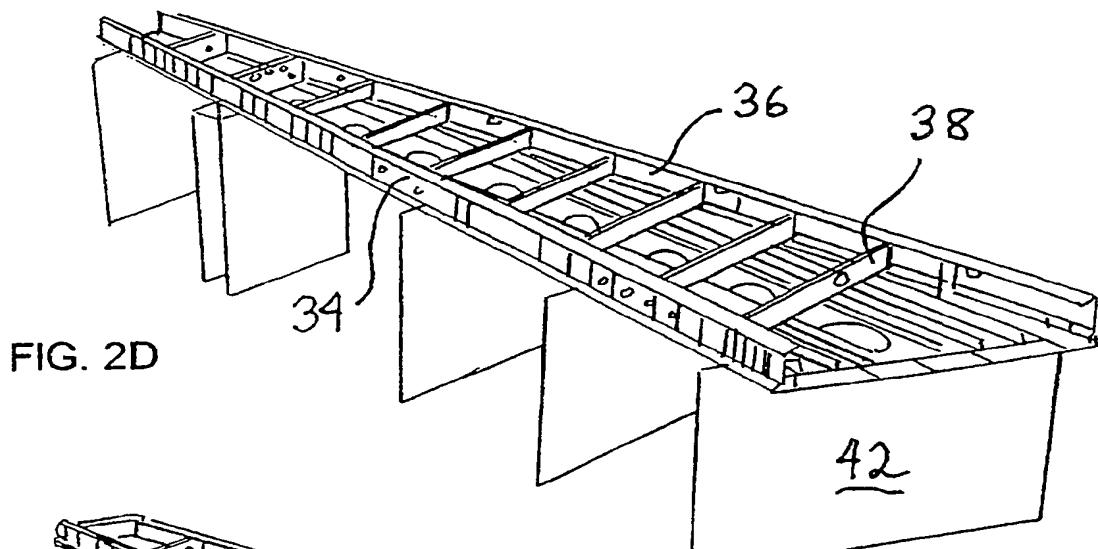
- Positionieren einer oberen Flügelplatte über der unteren Flügelkastenbaugruppe und Befestigen der oberen Flügelplatte an den Rippen und den Holmen.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen







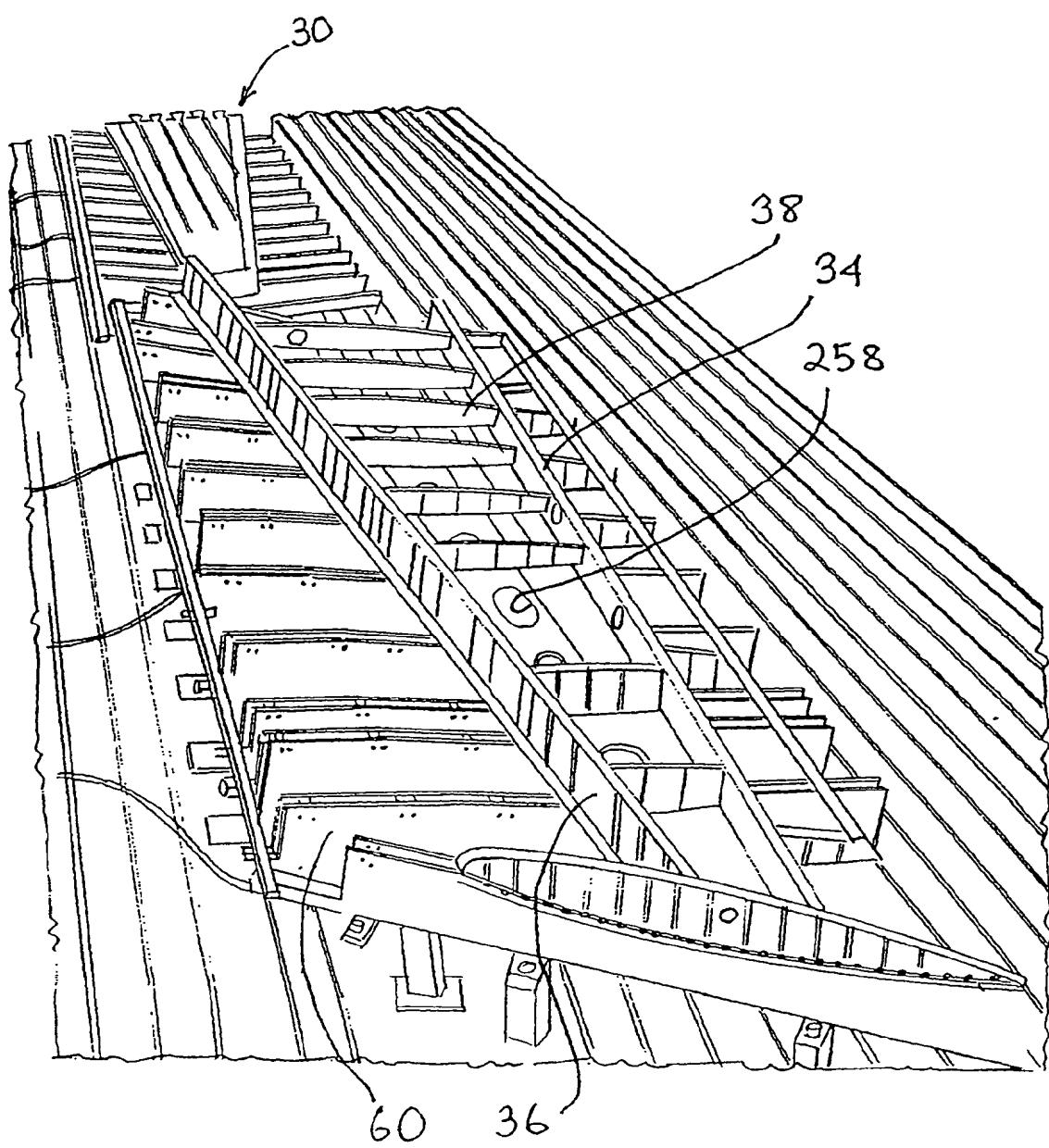


FIG. 3

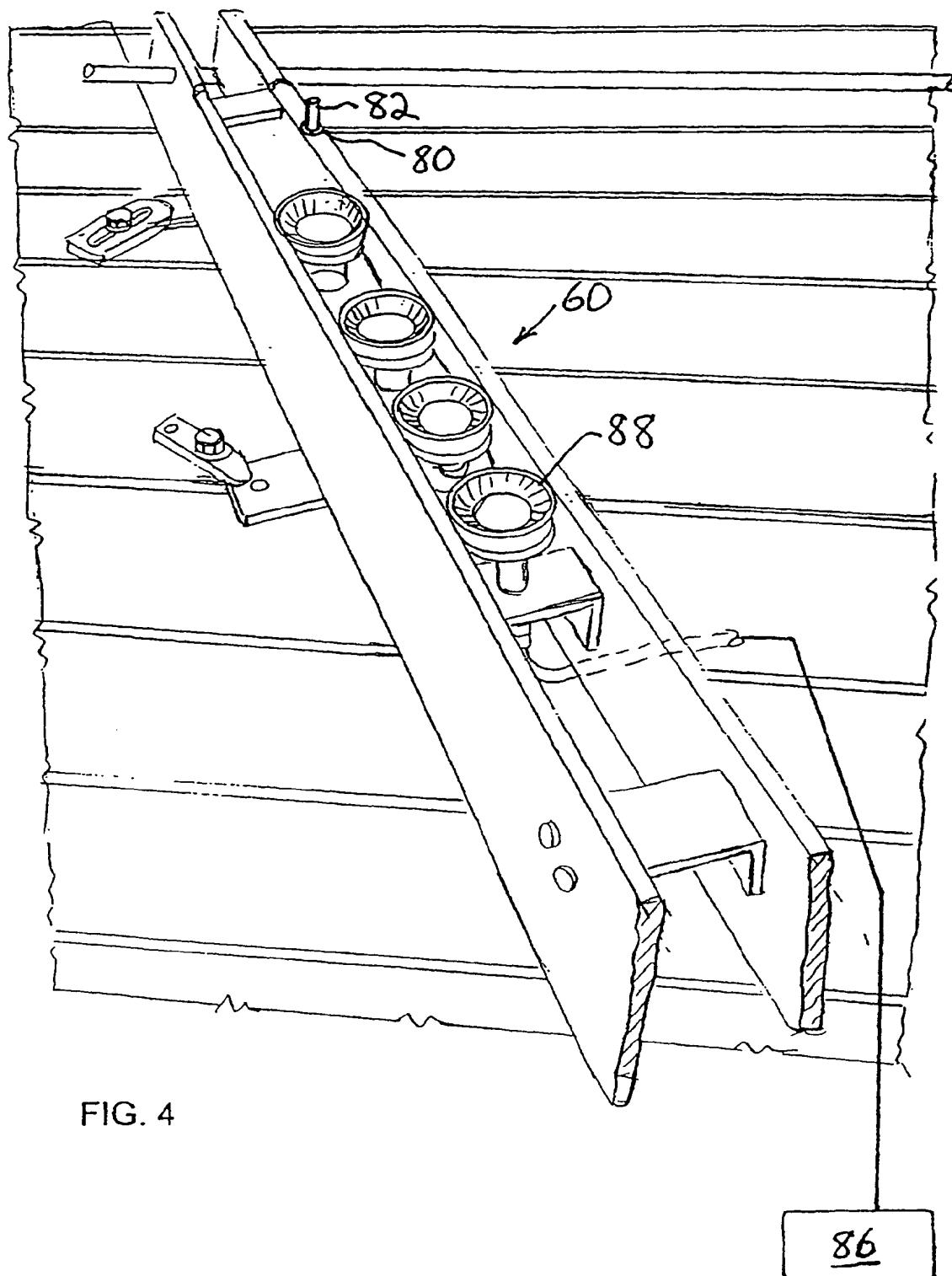


FIG. 4

FIG. 5

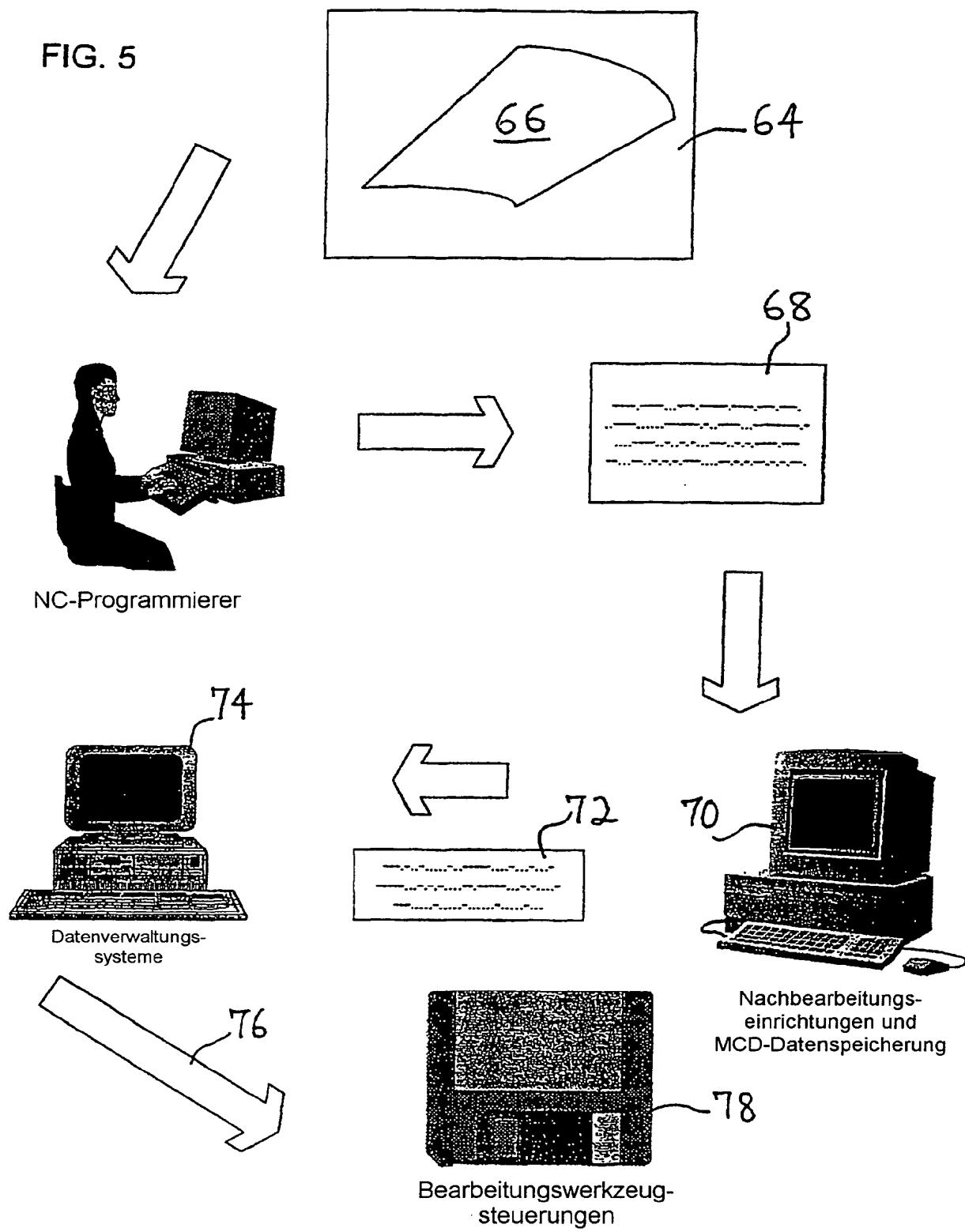


FIG. 6

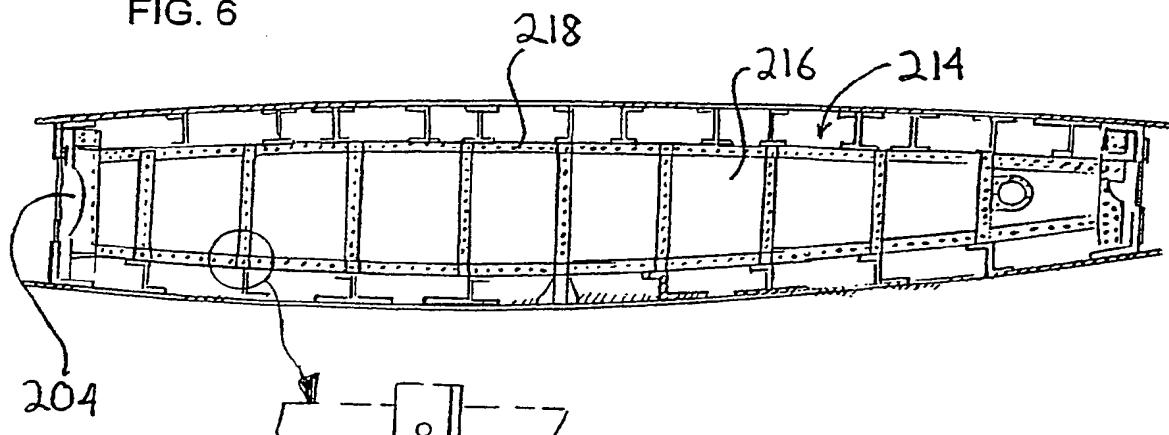


FIG. 7

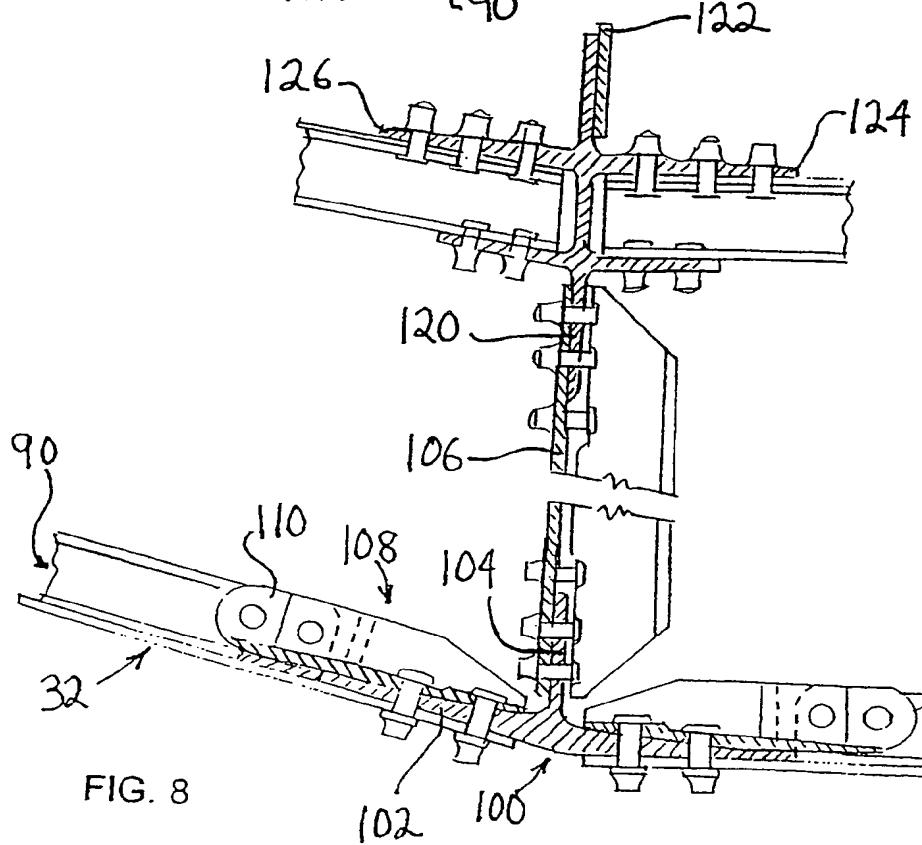


FIG. 8

FIG. 12

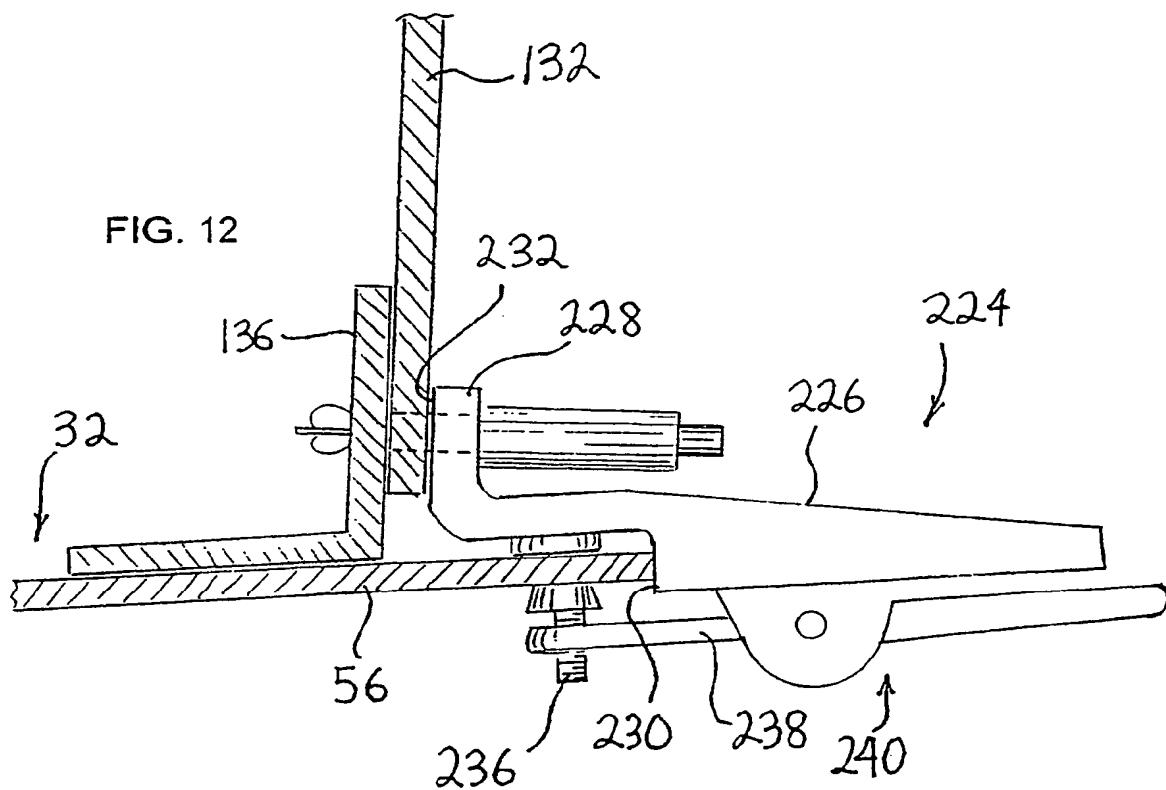
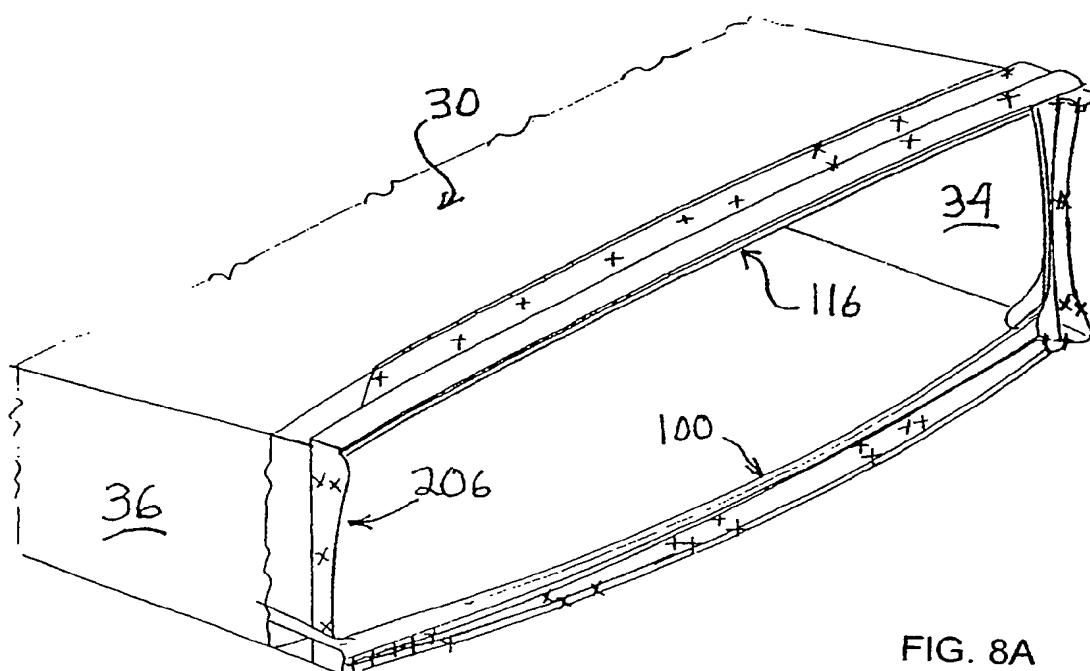


FIG. 8A



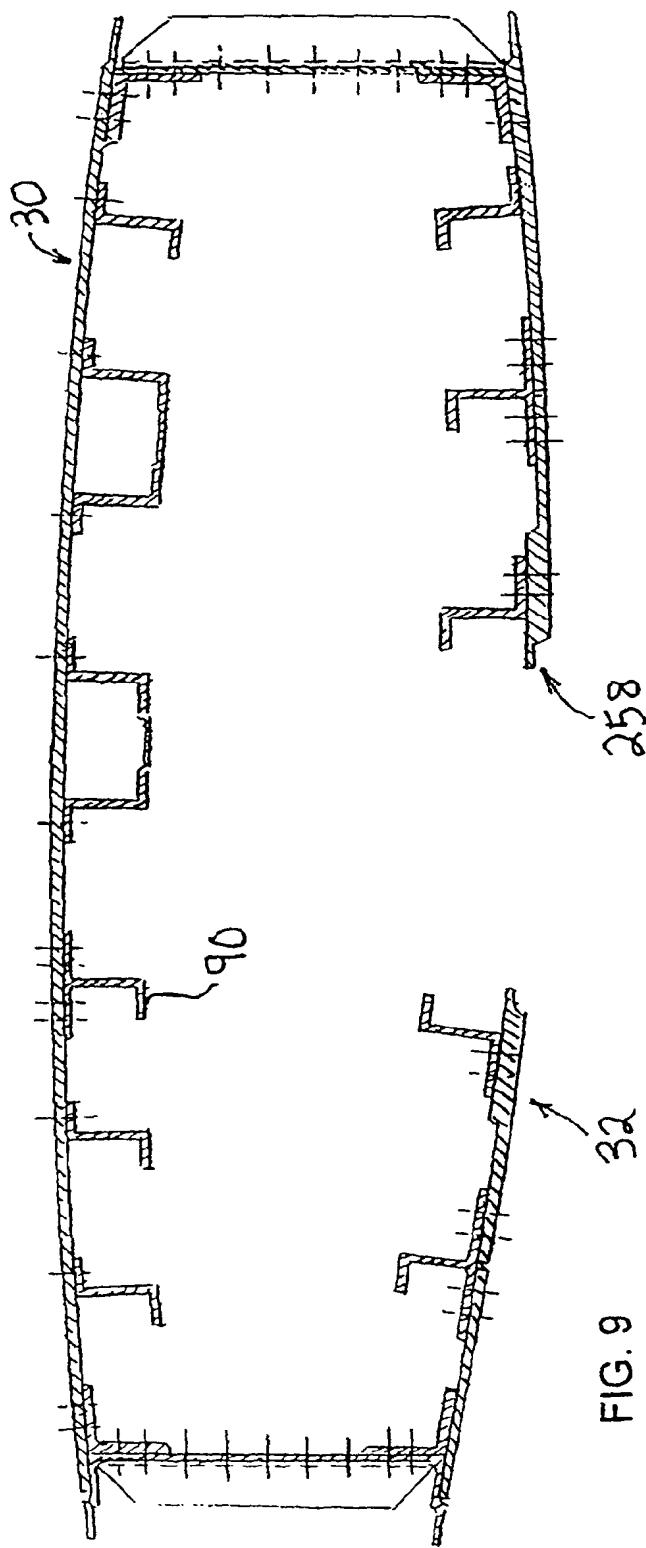


FIG. 9

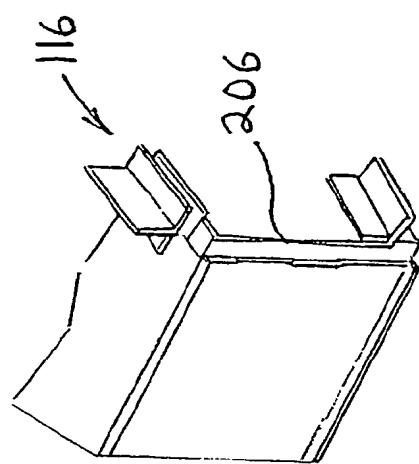


FIG. 11

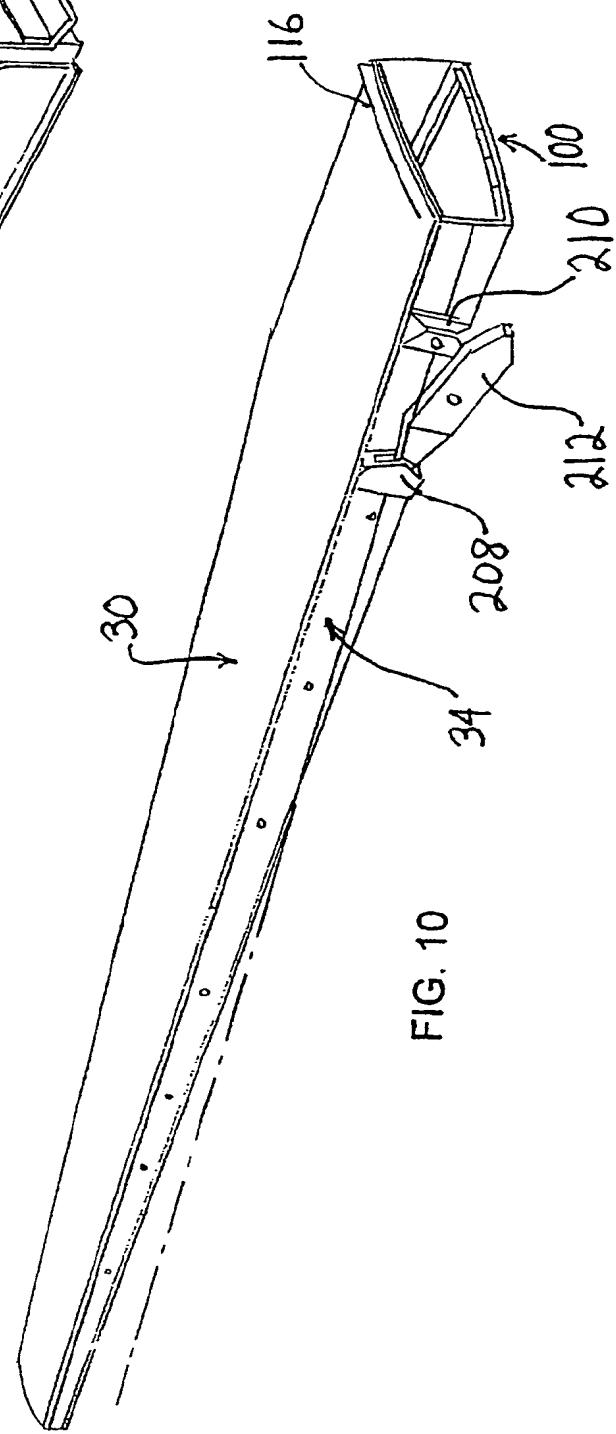
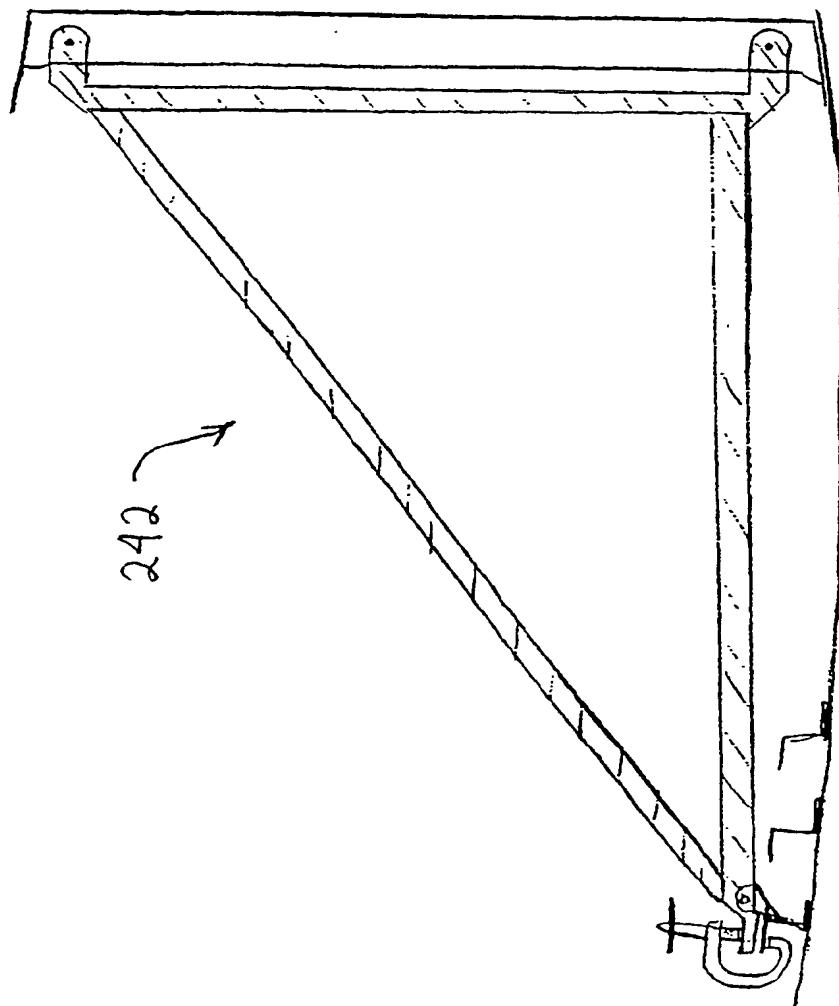


FIG. 10

FIG. 13



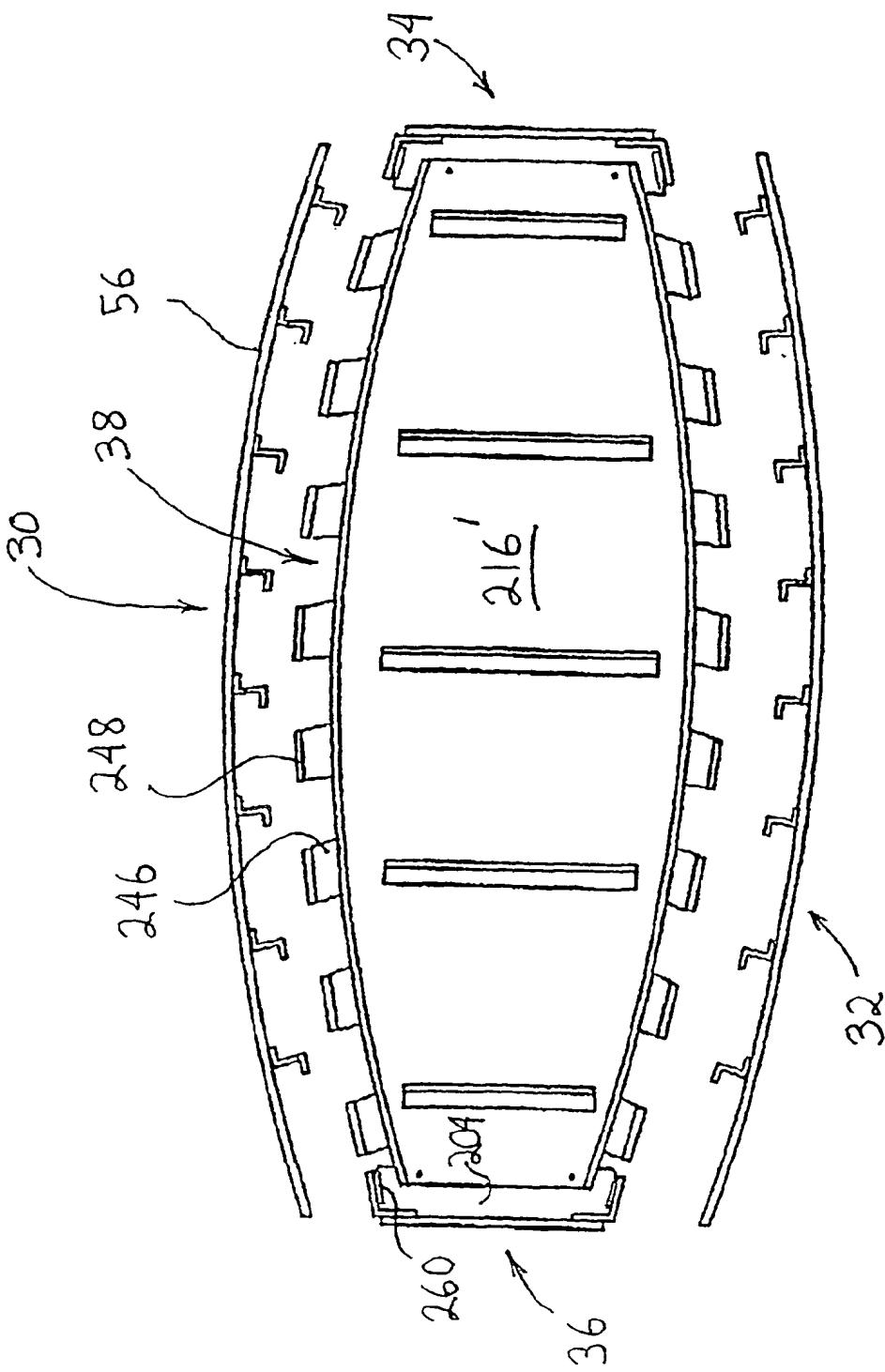


FIG. 14

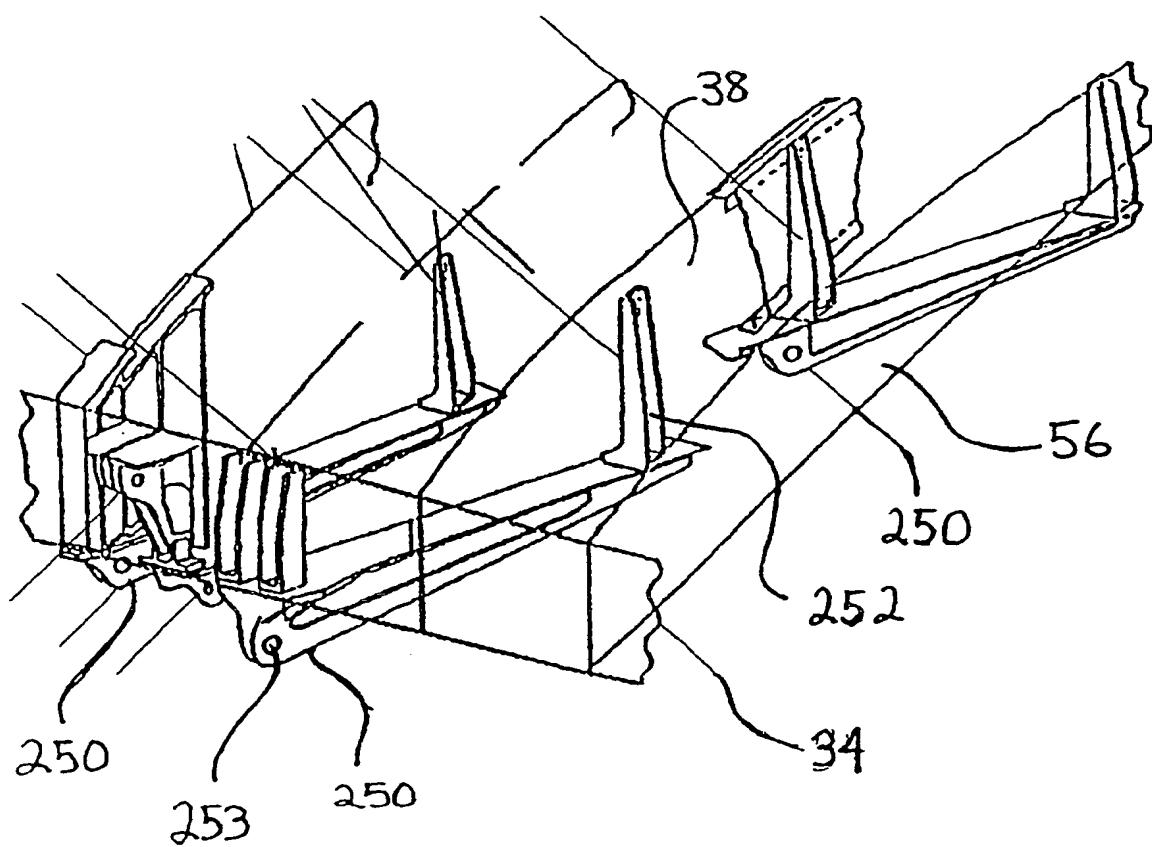


FIG. 15

FIG. 16

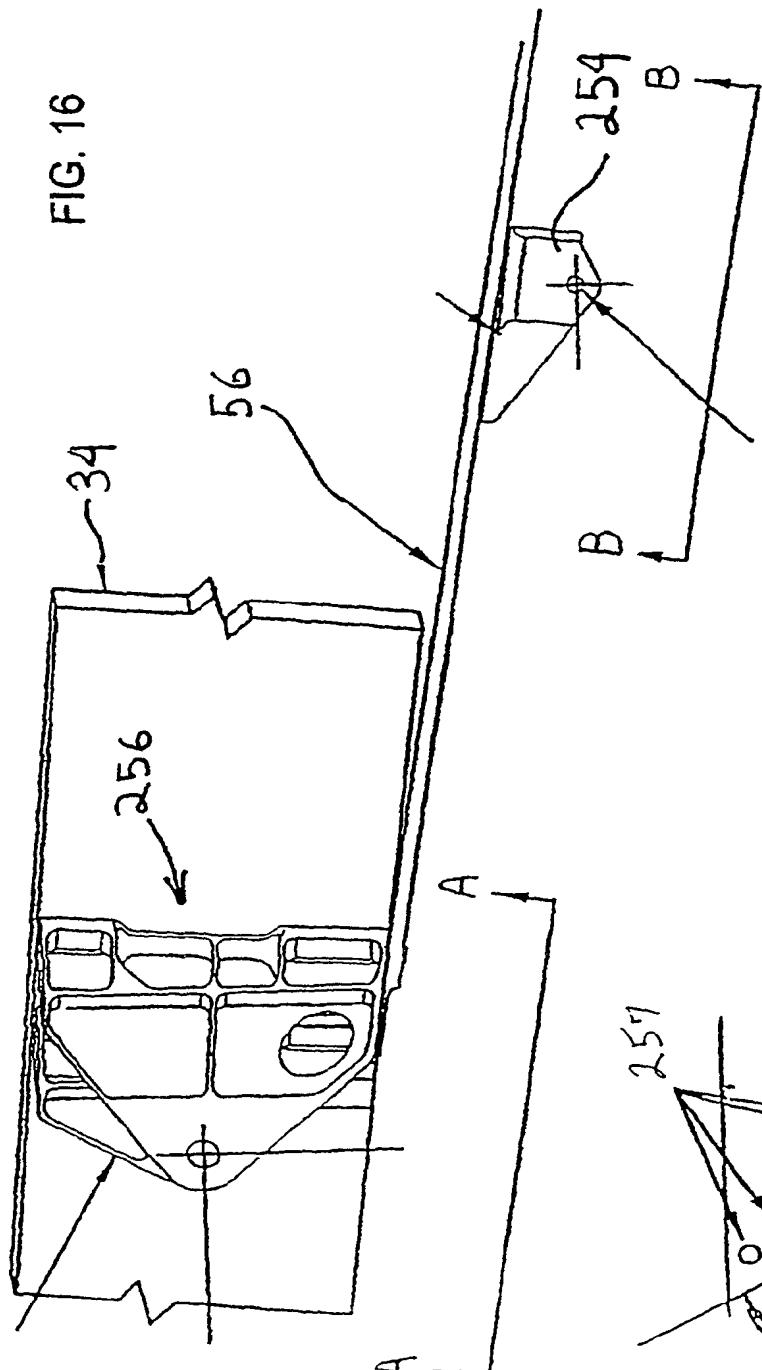
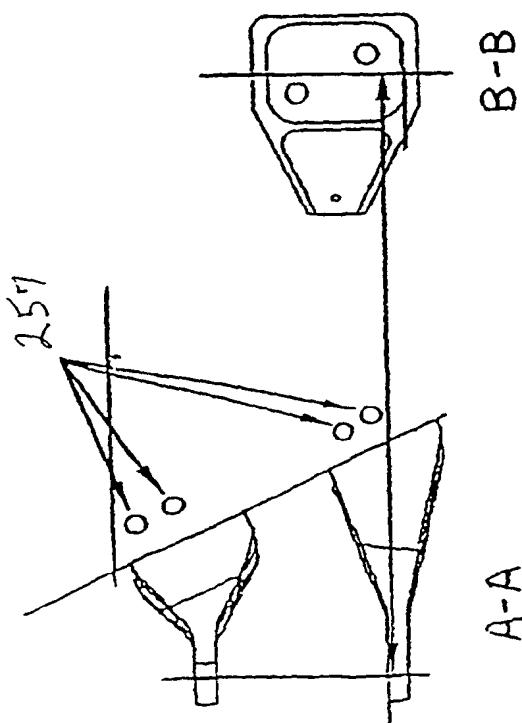
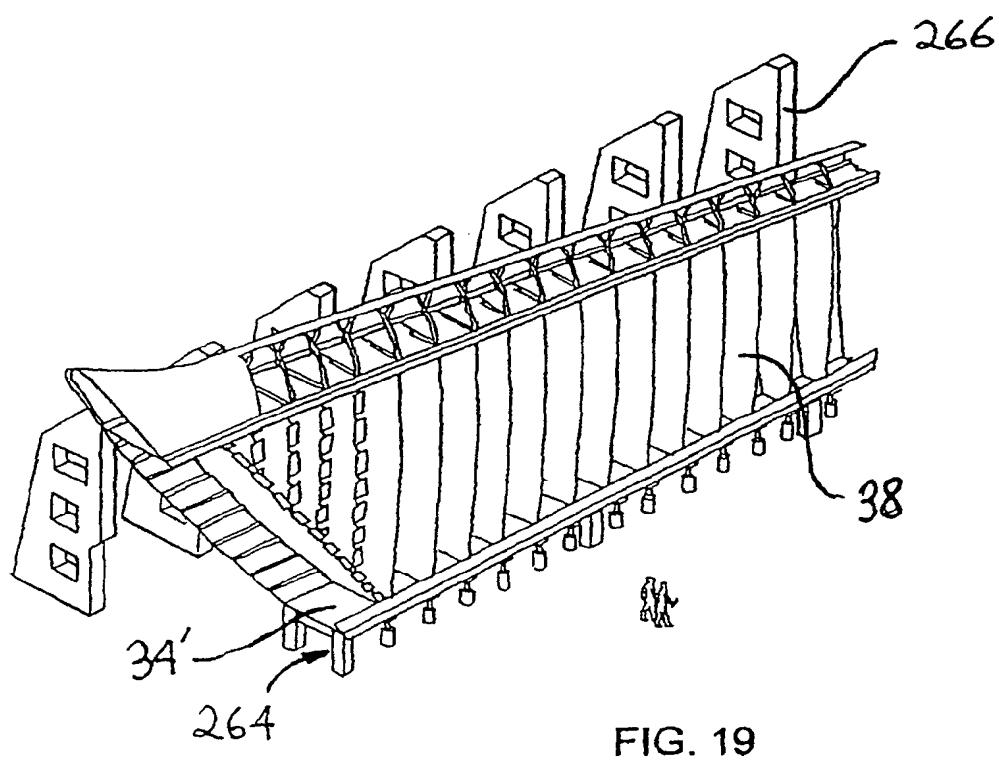
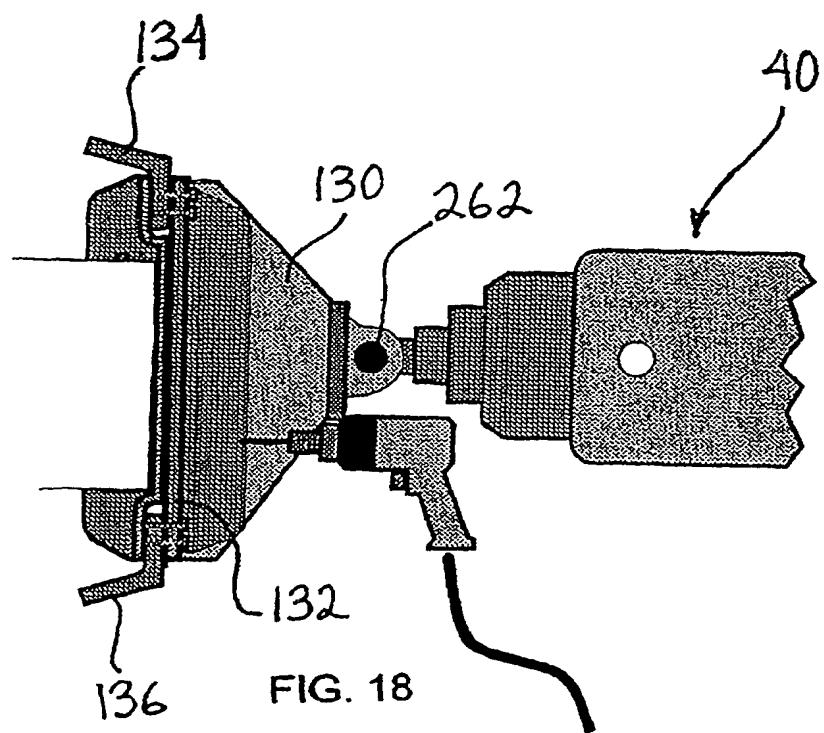


FIG. 17





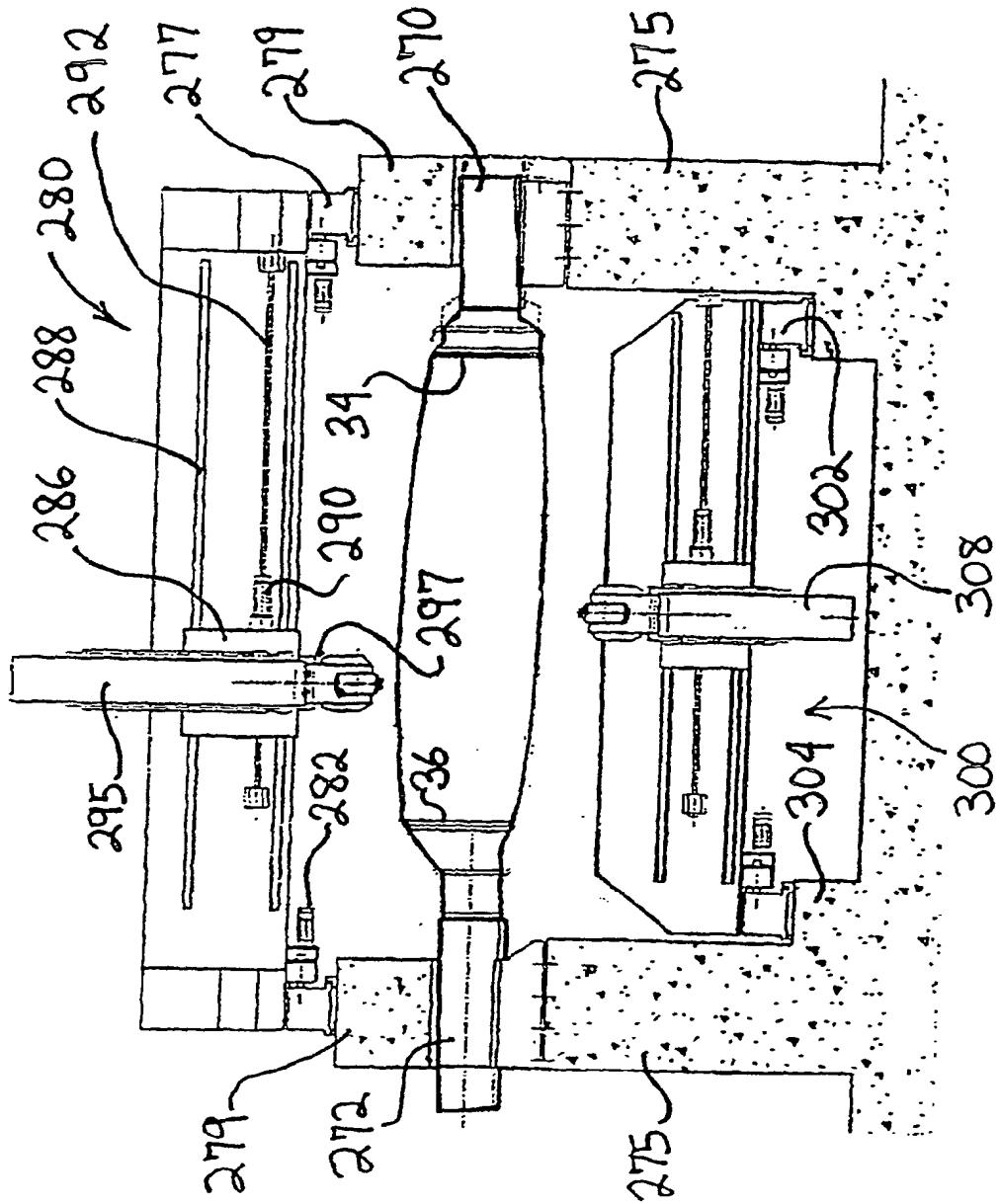


FIG. 20